



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ANTTI SIPIILÄINEN
VAIHDE-ELEMENTTIEN KÄSITTELYMENETELMÄT

Diplomityö

Tarkastajat: professori Pauli Kolisoja
ja yliopistonlehtori Olli Kerokoski
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen tiedekun-
nan tiedekuntaneuvoston kokoukses-
sa 9. syyskuuta 2015

TIIVISTELMÄ

ANTTI SIPILÄINEN: Vaihde-elementtien käsittelymenetelmät

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 171 sivua, 2 liitesivua

Marraskuu 2015

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät

Tarkastajat: professori Pauli Kolisoja ja yliopistonlehtori Olli Kerokoski

Avainsanat: Rautatievaihde, vaihde-elementti, vaihteen nosto, noston suunnittelu

Rautatievaihteet ovat kriittisimpiä rautatietekniikan osia. Suomessa tulevaisuudessa rataverkkomme vaihteiden vaihtotarve tulee kasvamaan. Varsinkin lyhyiden vaihteiden vaihtoja pystytään tekemään yleiskäyttöisillä laitteilla, mikä avaa mahdollisuuden useiden eri toimijoiden työskentelylle. Toisaalta yleiskäyttöisillä koneilla myös vaihde-elementtien käsittelyyn tulee kiinnittää enemmän huomiota.

Vaihde voidaan jakaa kolmeen elementtiin, joita ovat kielisovituselementti, välikiskoelementti ja risteuselementti. Vaihdetta uusittaessa ensimmäisenä tulee poistaa vanha vaihde nostamalla nämä kolme erillistä elementtiä radasta. Tämän jälkeen nostetaan kolme uutta elementtiä osaksi rataa. Tässä työssä tutkittiin näitä nostoja ja selvitettiin käytettävissä olevia nostotapoja. Tutkimuksen aikana selvitettiin merkittävimmät tekijät, jotka nostojen aikana voivat aiheuttaa vaihde-elementtiin pysyvän vaurion. Lisäksi tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää, kuinka nostot voitaisiin suorittaa niin, että nämä selvitetty vauriot voitaisiin välttää. Tavoitteena oli myös määrittää tutkittaville vaihteille nostoihin soveltuvat nostopisteet. Jatkossa tätä tutkimusta on tarkoitus käyttää uudistetun nosto-ohjeistuksen laatimisessa.

Tutkimuksen aikana vierailtiin muutamien eri urakoitsijoiden työmailla ja molemmissa Suomen vaihdehalleissa. Näiden vierailujen aikana kerättiin tietoa alan eri asiantuntijoilta ja työmaalla työskenteleviltä henkilöiltä. Tutkimuksen aikana tutustuttiin myös ulkomaiseen kirjallisuuteen, etsittiin vastaavia käytäntöjä ja pohdittiin niiden käyttöä Suomen olosuhteissa. Nostopisteiden määrittämisen raja-arvot selvitettiin työn aikana ja lopputuloksena on ehdotus jatkossa käytettävistä nostopisteistä tutkittavien vaihteiden elementeille.

Tutkimuksen aikana saatiin selvitettyä paljon käyttökelpoista taustamateriaalia, jota voidaan käyttää hyväksi uudistetun nosto-ohjeen laatimisessa. Nykyisistä käytännöistä löytyi paljon ristiriitaisia toimintamalleja, joita tulisi jatkossa yhtenäistää. Vaihde-elementtien nostopisteiden suunnitteluperusteena tulee käyttää pääasiassa kiskon myötöä, sillä kiskoon ei nostojen aikana saa syntyä pysyviä muodonmuutoksia. Nostopisteiden määrittämisen yhteydessä havaittiin, että eri elementeille ei ole mahdollista muodostaa optiminostopisteitä, sillä nostopisteiden valintaan vaikuttavat merkittävästi käytettävä nostotapa, työmaanosuhteet ja valittavissa oleva nostolaite tai nostolaitteet. Sen sijaan jokaiselle vaihde-elementille voidaan muodostaa yleisnostovälit, jotka soveltuvat mahdollisimman monelle eri nostotavalle ja työmaalla vallitseville olosuhteille.

ABSTRACT

ANTTI SIPILÄINEN: Handling methods of railway turnout panels
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 171 pages, 2 Appendix pages
November 2015
Master's Degree Programme in Civil engineering
Major: Traffic and transportation systems
Examiner: Professor Pauli Kolisoja and university lecturer Olli Kerokoski

Keywords: Railway turnout, turnout segment, turnout lifting, lifting planning

Railway turnouts are the most critical elements in the whole railway system. In Finland the railway system will face significant need for renewing turnouts around the country in the future. Turnouts can be lifted up with various machines that are not customized for this particular function and that can be made by several contractors.

A single turnout is divided into three segments: switch panel, closure panel and crossing panel. The first step at the construction site is to remove the old turnout. First the old turnout is lifted up in three separate segments and after removing those, three similar new segments are placed on track. This master's thesis concentrates on those lifting operations and the goal is to solve key factors that affect the lifting process. During the research all the main factors that could cause a permanent damage are examined and possible solutions are presented. This thesis introduces methods to avoid those permanent damages in the future. One of the main goals is to find out the recommended lifting points that are suitable for the lifting. In the future this master's thesis can be used as a background research for new lifting procedure.

During this research few visits are conducted to renewing sites and both of the two turnout assembling places in Finland. Collecting valuable information from Finnish experts is desired during these visits. One goal is also to explore working methods of different contractors and foreign literature that covers this topic. Factors for determining lifting points are solved during the research and as a result, suggestions for best suitable lifting points in the future are presented.

This research has given lot of good background information for the new lifting procedure. Currently different parties are using different methods that need to be standardized in the new procedure and be taken into practice. During the research new usable methods and factors for better lifting were found. According to these findings main factor determining liftings points for different turnout panels is the yield of rail. The result of this research was that it is not possibly to create optimal lifting points suitable for every different turnout segments as there are several factors affecting the lifting points like lifting method, circumstances of the working site and features of lifting machines. However, general lifting points for turnout panels are possible to be determining. These can be used in every lifting process and the lifting points are presented in this thesis.

ALKUSANAT

Tutkimuksen varsinaisena tarkoituksena on ollut vaihde-elementtien nostojen ohjeistuksen kehittäminen, minkä ohessa on syntynyt tämä diplomityö. Työ on tehty Liikenneviraston tilaamana Sito Oy:ssä.

Haluan kiittää Tampereen teknillisestä yliopistosta ohjaajiani Pauli Kolisojaa ja Olli Kerokoskea avusta ja ohjauksesta tutkimuksen teon aikana. Työmaakäyntien järjestämisestä haluan kiittää Sweco PM Oy:n Kimmo Väisästä. Työmailta saatiin kerättyä paljon havaintoja ja haluankin kiittää Destia Oy:n, Lemminkäinen Oy:n ja VR Track Oy:n vaihteenvaihtotyömailla työskennellyttä henkilökuntaa ja aliurakoitsijoita hyvästä yhteistyöstä. Vaihdehalleilla käynneistä ja siellä käydyistä keskusteluista haluan kiittää Vossloh Cogifer Oy:n Jari Pollaria, Pertti Pulliaista ja Mika Sorsaa.

Työn aihe oli erittäin mielenkiintoinen. Aiheen muotoilemisesta ja tutkimuksen aikana saadusta erittäin hyvästä ohjauksesta haluan kiittää Liikenneviraston Tuomo Viitalaa. Suurimmat kiitokset haluan osoittaa Sito Oy:lle ja erityisesti haluan kiittää työni ohjaajaa Laura Järvistä mahdollisuudesta työn tekemiselle sekä kaikesta avusta ja ohjauksesta työn teon aikana.

Tampereella, 28.12.2015.

Antti Sipiläinen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimusongelma.....	1
1.2	Tavoitteet ja rajausta	2
1.3	Tutkimusmenetelmät ja työn sisältö.....	3
2.	RAUTATIEVAIHDE	4
2.1	Vaihteen perusosat	4
2.2	Vaihteen merkintä	6
2.3	Vaihteiden luokittelu ja vaihdetyypit	6
2.4	Vaihteen valinta.....	10
2.4.1	Nopeus vaihteessa	10
2.4.2	Vaihteen rakenne.....	11
2.4.3	Vaihteen geometria	12
2.5	Vaihteiden kunnossapito	14
2.5.1	Vaihteiden tarkastus.....	14
2.5.2	Vaihteiden vaihdon tarve	15
2.5.3	Vaihteiden kustannukset	17
2.6	Vaihteiden vaihtaminen.....	18
3.	VAIHDE-ELEMENTIT.....	20
3.1	Vaihde-elementin valmistus.....	20
3.1.1	Kisko vaihteessa.....	21
3.1.2	Vaihteen ratapölkky	22
3.1.3	Kiskon kiinnitys	25
3.2	Vaihteiden elementit ja niiden ominaisuudet	26
3.2.1	Kielisovituselementti	28
3.2.2	Välikiskoelementti	33
3.2.3	Risteyselementti	34
3.3	Vaihteiden elinkaari ja kierrätys	37
4.	NOSTOKALUSTOT	39
4.1	Työkoneiden käyttö vaihdetyömaalla	39
4.2	Nostokaluston valintaan vaikuttavat tekijät	40
4.3	Valittavissa olevia nostolaitteita.....	43
4.3.1	Kaivinkoneet	44
4.3.2	Ajoneuvonosturi.....	46
4.3.3	Raidenosturi	49
4.3.4	Kuormausnosturi.....	50
4.3.5	Vaihteenasennuskone.....	52
5.	TYÖN SUUNNITTELU	54
5.1	Noston suunnittelu.....	54
5.1.1	Nostosuunnitelma.....	55

5.1.2	Muiden työvaiheiden vaikutus noston suunnitteluun.....	56
5.2	Elementin painon merkitys nostoissa.....	57
5.2.1	Vaihde-elementin painopiste.....	57
5.2.2	Nostovoima uutta elementtiä nostettaessa	62
5.2.3	Nostovoima vanhoja elementtejä poistettaessa.....	64
5.3	Nostoapuvälineet.....	65
5.3.1	Kettinkinostoraksi	66
5.3.2	Teräsnostoraksi	67
5.3.3	Tekokuituiset nostoraksit	68
5.3.4	Nostopuomi	69
5.3.5	Nostopalkki	70
5.4	Nostoapuvälineiden käytöstä aiheutuvat voimat.....	71
5.4.1	Epäsymmetrinen nosto.....	75
5.4.2	Nostoapuvälineen mitat.....	77
5.5	Nosto kuljetusyksikköön	79
5.6	Kuljetuksen suunnittelu.....	81
5.7	Nosto asennuspaikkaan	83
5.7.1	Nosto yhdellä nostolaitteella	83
5.7.2	Nosto kahdella tai useammalla nostolaitteella	86
6.	NOSTOPISTEIDEN MÄÄRITYS	89
6.1	Elementin mallinnus.....	89
6.1.1	Massan jakauma.....	90
6.1.2	Dynaamiset kuormat	92
6.1.3	Nostoissa vaikuttava kuorma	93
6.2	Vaihde-elementin taivutus.....	95
6.2.1	Sallittu taivutusmomentti	96
6.2.2	Taivutusmomentin rajaamat nostopisteet.....	99
6.3	Nostosta aiheutuvat muut vauriot.....	105
6.3.1	Pölkyn suuntainen veto	106
6.3.2	Kiskon suuntainen puristus	109
6.3.3	Kiskon ja pölkyn välinen sijainti	111
6.4	Käytettävien nostovälien aiheuttamat voimat	113
6.4.1	Pystysuuntainen voima	113
6.4.2	Pituussuuntainen voima	116
6.4.3	Poikittaissuuntainen voima	120
6.5	Nostoraksien pituus	123
6.6	Nostopisteet.....	125
6.6.1	Nostopisteiden valinta.....	125
6.6.2	Vaihteen YV60-300-1:9 yleisnostovälit	130
6.6.3	Nostopisteiden merkintä	132
6.6.4	Määritettyjen nostovälien vertailu nykyisiin nostopisteisiin	134
6.6.5	Muiden tutkittavien vaihteiden nostopisteet	137

7.	NOSTOJEN TURVALLISUUS	142
7.1	Nostotyötä koskeva lainsäädäntö	142
7.2	Ratatyöturvallisuus	144
7.3	Vastuualueet ja pätevyudet	148
7.4	Sähkörataturvallisuus	150
7.5	Koneiden käyttö	154
8.	PÄÄTELMÄT JA TULOKSET	156
9.	JATKOTUTKIMUSTARPEET	161
	LÄHTEET	163

LIITE A: VAIHTEEN YV60-300-1:9 VAIHTEENVAIHTOTYÖMAAN AIKATAULU

LIITE B: VAIHTEEN YV60-300-1:9 VÄLIKISKOELEMENTIN JA RISTEYSELEMENTIN NOSTOSSA SYNTYVÄT PITUUSSUUNTAISET VOIMAT

SYMBOLIT, LYHENTEET JA KÄSITTEET

Kreikkalaiset kirjaimet

α	Nostoapuvälineen pituussuuntainen kulma suhteessa kiskon pinnasta lähtevään pystysuoraan akseliin
β	Kaltevuuskulma eli nostoapuvälineen poikittaissuuntainen kulma suhteessa kiskon pinnasta lähtevään pystysuoraan akseliin
γ	Vaihteen risteyskulma
Ψ	Dynaamisista kuormista aiheutuva kerroin
σ	Nostossa aiheutuvasta taivutusmomentista syntyvä jännitys
σ_y	Jännitys ratakiskon myötörajalla

Latinalaiset kirjaimet

a	Elementin painopisteestä katsoen järjestysnumeroltaan pienempien pölkkyjen päässä olevan nostovälin etäisyys painopisteestä
b	Elementin painopisteestä katsoen järjestysnumeroltaan suurempien pölkkyjen päässä olevan nostovälin etäisyys painopisteestä
E	Teräksen kimmomoduuli
F_x	Nostoissa syntyvä pituussuuntainen voiman komponentti
F_y	Nostoissa syntyvä poikittaissuuntainen voiman komponentti
F_z	Nostoissa syntyvä pystysuuntainen voiman komponentti
F_a	Elementin painopisteestä katsoen järjestysnumeroltaan pienempien pölkkyjen puoleiseen päähän kohdistuva voima
F_b	Elementin painopisteestä katsoen järjestysnumeroltaan suurempien pölkkyjen puoleiseen päähän kohdistuva voima
G	Vaihde-elementin painosta aiheutuva painovoima
I	Ratakiskon jäyhyysmomentti
$M_{sallittu}$	Suurin sallittu taivutusmomentti nostojen aikana
R	Vaihteen kaarresäde
R_{-e}	Puristusmyötöraja eli tyssäysraja
R_{-m}	Puristusrakenteen murtolujuus
R_{eH}	Myötölujuus
R_m	Murtolujuus
V	Vaihteen poikkeavan raiteen teoreettinen suurin sallittu nopeus
V_g	Nostoon käytettävä kokonaisvoima
z	Nostoraksin pituus kiskon hamarasta nostolaitteeseen

Lyhenteet

ATU	Aukean tilan ulottuma
BOEF	Kimmoisalla alustalla oleva palkki
KV	Kaksoisvaihde
KRV	Kaksipuolinen risteysvaihde
RR	Raidieristeys

RSU	Ratatyön suojaulottuma.
SKV	Sisäkaarrevaihde
SRR	Sovitettu raideristeys
TYV	Tasapuolinen yksinkertainen vaihde
UKV	Ulkokaarrevaihde
YRV	Yksipuolinen risteysvaihde
YV	Yksinkertainen vaihde
WLL	Nostoapuvälineen suurinta sallittua kuormaa osoittava merkintä

Käsitteet

Aukean tilan ulottuma	Raidetta pitkin ulottuva tila, jonka sisäpuolella ei saa olla laitteita tai muita rakenteita
Dynaaminen kuorma	Kuorma, josta aiheutuu rakenteeseen kiihtyvyyssrasituksia kiihtyvyyden suuruuden ja suunnan muuttuessa
Lyhyt vaihde	Vaihde, jonka risteyskulma on 1:9 tai jyrkempi ja poikkeavalla raiteella suurin sallittu nopeus on enintään 40 km/h.
Nostoapuväline	Komponentti tai laite, johon voidaan tarttua
Nostopalkki	Kielisovituselementin nostoissa kiskoja alle laitettava nostoapuväline
Nostopiste	Kiskossa oleva piste, johon nostoapuväline kiinnitetään
Nostopuomi	Vaihde-elementtien nostoissa käytettävä vaihteen suuntaisesti sijoitettava nostoapuväline, jonka avulla voidaan nostosta aiheutuvia kuormia jakaa koko elementille
Nostoväli	Nostoon käytettävä pölkkyväli
Nosturi	Konekäyttöinen nostolaite, jonka avulla kuormaa voidaan nostaa, laskea tai siirtää
Pysyvä kuorma	Tarkastelujakson ajan vaikuttava kuorma
Raide-elementti	Tavallisten raidepölkkyjen ja kiskoja muodostama elementti
Ratatyön suojaulottuma	Se raidetta pitkin ulottuva tila, jonka sisällä työskentelemiseen tarvitaan liikenteenohjauksen ratatyölupa tai on käytettävä turvamiesmenettelyä
Staattinen kuorma	Kuorma, jonka suuruus ja suunta pysyvät samana koko ajan
Suunnikaskuorma	Jatkuva kuorma, jonka suuruus kasvaa lineaarisesti
Suunnitteluperusteet	Asiakirja, johon kootaan tilaajan tavoitteet, lähtökohdat ja suunnittelua ohjaavat tekniset asiat, jotka ohjaavat kohteen suunnittelua
Vaihde-elementti	Elementtejä, joista koostuu vaihde tai raideristeys. Yleisimpiä ovat kielisovitus-, välikisko- ja risteys-elementin lisäksi kiskonliikuntalaite-elementti
Vaihteen alue	Vaihteen etujatkosten ja takajatkosten tai vaihteen uloimmaisten jatkosten väliin jäävä alue
Yhteinen työmaa	Työmaa, jossa samanaikaisesti tai peräkkäin toimii useampi työnantaja tai itsenäinen työsuorittaja

1. JOHDANTO

Rautatievaihteet ovat edellytys suunnitellulle junaliikenteelle ja luovat siitä tarkoituksenmukaisen. Vaihteessa on liikkuvia osia, jotka ovat herkkiä vaurioitumaan väärin käsiteltyinä, joten niiden kunnossapito on tarpeen tehdä huolellisesti. Lisäksi vaihteet ovat raidegeometrian elementtejä, joten niiden pitää täyttää kaikki turvallisuusvaatimukset.

Vaihde voidaan jakaa kolmeen elementtiin, joita ovat kielisovituselementti, välikisoelementti sekä risteuselementti. Suomessa on tapana vaihteen rakentaminen juuri näiden elementtien avulla. Tällä tavalla työstä aiheutuva häiriö junaliikenteelle saadaan mahdollisimman vähäiseksi, varsinkin yksiraiteisilla rataosuuksilla. Myös maailmalla vaihteita rakennetaan valmiiden elementtien avulla, sillä näin saadaan varmistettua monimutkaisten ja tärkeiden vaihteiden toimintavalmius, ennen kuin ne viedään asennuspaikkaan. Elementtien avulla vaihteiden vaihto pystytään suorittamaan nopeasti ja liikenne voidaan palauttaa normaaliksi mahdollisimman pian. Lisäksi sekä maailmalla että Suomessa tietyillä rataosuuksilla ratakapasiteetti on jo kokonaan käytössä, joten vaihteet on pakko vaihtaa valmiina elementteinä ajan säästämiseksi.

Vaihteiden elinkaariajattelu voidaan nähdä hyvin samanlaiseksi kuin muidenkin teollisten tuotteiden elinkaari. Se alkaa osien valmistuksesta ja päättyy lopulta loppusijoituspaikkaan eli hävitettäväksi. Suomessa käytettäviä vaihteiden osia valmistetaan niin kotimaassa kuin ulkomailla, mutta vaihde-elementit kootaan vaihdetyypin mukaan vaihdehalleissa Kaipiaisissa tai Pieksämäellä. Vaihdehalleilta vaihde kuljetetaan jo edellä mainituissa kolmessa elementissä asennuspaikkaan rautateitse tai maanteitse. Vaihdeelementtejä kuljetettaessa ja nosteltaessa on huolehdittava riittävästä huolellisuudesta ja tarkkuudesta. Vaihdehalleilta lähtiessään vaihde-elementit ovat lähes käyttökunnossa, joten kuljetuksesta ja nostosta aiheutuvia vaihteeseen kohdistuvia vaurioita tulee välttää.

1.1 Tutkimusongelma

Vaihde-elementtien kokoonpano erillisissä halleissa ja kuljetus työmaalle vaatii huolellisuutta, tarkkuutta ja ammattitaitoa kaikilta käsittelyyn osallistuvilta tahoilta. Suomessa on kova tarve vaihteiden uusimiselle, sillä suurin osa rataverkkomme vaihteista on asennettu 1990 ja 2000 -luvulla. Tämän työn tarkoitus on tutkia lyhyitä yksinkertaisia vaihteita, joita on suurin osa maamme vaihdekannasta. Tällaisia vaihteita pystytään vaihtamaan yleiskäyttöisillä koneilla, jolloin työtä voivat tehdä myös pienemmät urakoitsijat. Näillä laitteilla nostotyötä tehtäessä pitää kuitenkin nostopisteiden sijaintiin ja vaihteen käsittelyyn kiinnittää erityistä tarkkuutta. Työskenneltäessä yleiskäyttöisillä koneilla vaihteet ovat huomattavasti herkemmin alttiita vaurioille, kuin työhön erityises-

ti suunnitelluilla laitteilla työskenneltäessä. Nostopisteiden optimointi on tärkeää, jotta vaihteen kiskot, pölkyt ja muut komponentit eivät siirry tai vaurioidu elementtien käsittelyn aikana. Kielisovitus, joka on vaihteen herkin osa, on erityisesti alttiina vaurioille. Suomessa rautatievaihteeseen kohdistunutta tutkimusta on vielä tehty suhteellisen vähän, mutta ulkomailla tutkimusta on tehty huomattavasti enemmän. Kuitenkin vaihde-elementtien osalta tutkimus on hyvin vähäistä. Varsinkin vaihde-elementin nostoihin, kuljetukseen ja käsittelyyn liittyvää ohjeistusta sekä materiaalia on saatavilla erittäin niukasti. Suomessa materiaalia on päivitetty viime vuosikymmeninä pääasiassa sattuneiden vahinkojen jälkeen. Tällä hetkellä voimassa oleva ohjeistus on entisen Ratahallintokeskuksen, nykyisen Liikenneviraston, vuonna 2007 julkaisema ”Vaihde-elementtien nosto ja siirto”, jossa käsitellään yksityiskohtaisimmin vaihde-elementtien käsittely. Ohjeessa ei kuitenkaan kerrota mitään tiettyjä nostokohtia millekään vaihteelle. Lisäksi toinen merkittävä ohjeistus on VR:n vuonna 1990 laatima ja vuonna 2013 päivitetty ”Vaihde-elementtien kuljetusvaunujen kuormausohje”. Tästä ohjeesta voidaan löytää joidenkin elementtien painopisteitä. Muita alan ohjeistuksia ovat entisen Ratahallintokeskuksen vuonna 1998 julkaisema ”Ratakiskojen käsittely työmaalla” sekä vuonna 1999 julkaistu ”Päällysrakennetöiden yleiset laatuvaatimukset (PYL), osa 3 vaihde-työt”. Molemmat ohjeet ovat yksityiskohtaisia ohjeistuksia, mitä kaikkia asioita tulee työmaalla ottaa huomioon. Itse nostoihin ei oteta syvällisesti kantaa.

Tässä työssä vaihde-elementtien kuljetuksen ja siirtelyn tarvetta tarkastellaan pääasiassa kunnossapidon, kustannusten ja turvallisuuden kautta, sillä elementtien käytöstä saatava hyöty ilmenee juuri olemassa olevalle verkolle tehtävän kunnossapitotyön yhteydessä, jolloin raide jouduttaisiin muuten sulkemaan liikenteeltä pitemmäksi aikaa. Uutta rataa rakentaessa liikennettä ei vielä ole, joten vaihde on teoriassa perustellumpaa rakentaa tällöin paikan päällä.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tärkein tavoite on tehdä taustatutkimus vaihde-elementtien nosto-ohjeen laatimiselle. Kuten edellisessä kappaleessa esitellään, nykyinen ohjeistus on kohtuullisen vanhaa eikä elementtien käsittelyä ole viime vuosina tutkittu. Työn aikana on tarkoitus selvittää kaikki tekijät, jotka vaikuttavat onnistuneen noston suorittamiseen. Lisäksi tavoitteena on koota monia eri ohjeistuksia yhteen ja tutustua myös ulkomaisiin menettelytapoihin, jotta kaikki vaihde-elementin käsittelyvaiheet saadaan otettua huomioon. Näiden tuloksena pyritään löytämään nykyisistä työskentelytavoista ja ohjeista ongelmakohdat, joita uuteen ohjeistukseen voidaan korjata. Taustatutkimuksen päätaavoite on selvittää eri vaihdetyypeille sopivimmat nostomenetelmät ja nostopisteet. Tutkimuksessa varmistetaan lujuuslaskelmilla sopivat nostopisteet sekä kuvataan työmenetelmät niin, että kuljetuksen ja noston yhteydessä vaihteet eivät vaurioidu. Työssä tarkastellaan lähinnä lyhyitä vaihteita eli vaihteita, joiden risteyskulma on 1:9 tai jyrkempi ja poikkeavalla raiteella suurin sallittu nopeus on enintään 40 km/h. Lyhyiden vaihteiden

den nostot voidaan hoitaa kevyemmillä koneilla ja tarve käsittelyohjeen päivittämiseen tulee juuri pienten koneiden ja sitä kautta epävarmempien nostojen myötä. Pidempiä vaihteita nostetaan yleensä aina Destrackillä eli vaihteenasennuskoneella, joka on varta vasten vaihde-elementtien käsittelyyn suunniteltu laite. Tällöin nosto on huomattavasti vakaampi eikä vaihde vaurioidu yhtä helposti, koska vaihteenasennuskoneella elementin taipumat on erittäin vähäisiä. Työhön liittyy oleellisesti myös elementtien käsittelyyn kohdistuva lainsäädäntö sekä turvallisuusasiat, varsinkin sähkörataturvallisuus. Työssä on myös tarkoitus arvioida nostokaluston soveltuvuutta työhön.

Tutkimus on tarkoitus rajata koskemaan pääasiassa vaihde-elementtien nostoja, mutta myös kuljetuksiin otetaan kantaa siinä määrin kuin ne nostoihin vaikuttavat. Itse asennustyöhön ei ole kuitenkaan tarkoitus ottaa kantaa. Työssä ei myöskään paneuduta syvällisesti vaihde-elementtien kokoamisen eri vaiheisiin, vaan tarkastellaan vain niitä osia kokoamisvaiheista, joilla on suurin vaikutus tulevaan elementin nosto- ja kuljetusvaiheeseen. Lisäksi nostopisteet suunnitellaan vain kahdesta pölkkyvälistä nostettaessa. Useammasta välistä nostettaessa nostoista saadaan varmempia ja ne vaativat erillisen tarkastelun.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn sisältö

Työn tärkein tutkimusmenetelmä on laskelmat, joilla määritetään nostopisteiden soveltuvuus työhön. Työssä tehdään myös kirjallisuusselvitys, jossa pyritään selvittämään jo käytössä olevia tapoja sekä kotimaassa että ulkomailla. Lisäksi tutkimuksen aikana käydään tutustumassa eri urakoitsijoiden vaihtenvaihtotyömailla ja molemmilla Suomen vaihdehalleilla. Kaikissa kohteissa haastatellaan työntekijöitä ja tehdään havaintoja työn ominaispiirteistä. Lisäksi vertaillaan yleisimpiä käytössä olevia nostolaitteita.

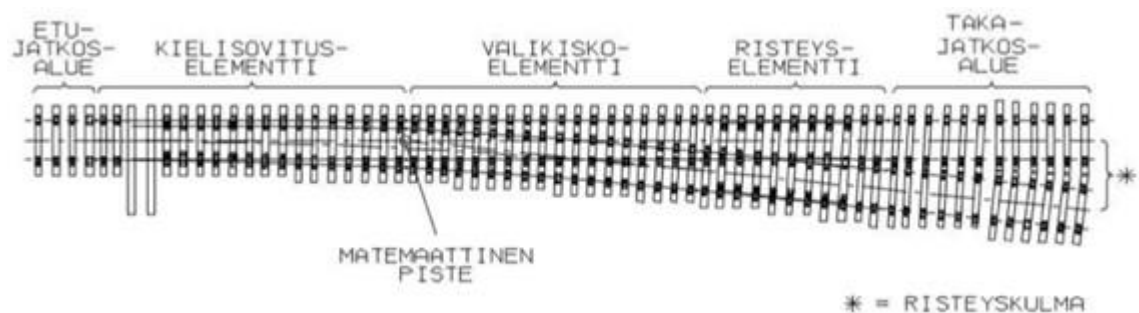
Luvussa 2 käsitellään rautatievaihteen yleistä terminologiaa ja toimintaa. Lisäksi luvussa on tarkoitus kertoa vaihteiden vaihdon nykyiset tarpeet. Luvussa 3 esitellään vaihteiden eri elementit ja elementeissä olevat komponentit. Luvussa selvitetään kaikki tekijät, jotka nostojen aikana tulee ottaa huomioon. Luvussa 4 esitellään nostokaluston valintaan vaikuttavat tekijät. Lisäksi tässä yhteydessä esitellään yleisemmin käytössä olevat nostolaitteet, joilla työtä pääasiassa tehdään. Työssä ei ole tarkoitus selvittää jokaista mahdollista käyttöön soveltuvaa laitetta, vaan nostolaitteiden osalta tutkimus pidetään varsin yleisellä tasolla. Erilaisia nostotapoja ja nostoihin vaikuttavia suunnitteluperusteita esitellään luvussa 5. Näiden tekijöiden perusteella on tarkoitus määrittää työssä tutkitaville vaihteille nostopisteet, jotka on määritetty luvussa 6. Tässä vaiheessa tutkimusta on käsitelty pääasiassa vaihde-elementin vaurioitumista nostoissa, mutta luvussa 7 työhön tuodaan mukaan vielä nostojen työturvallisuus. Lopuksi luvussa 8 esitellään työn päätelmät ja tulokset. Luvussa annetaan myös kehitysehdotukset nostoille jatkossa sekä nosto-ohjeen laatimiselle. Lopuksi luvussa 9 esitellään jatkotutkimustarpeet.

2. RAUTATIEVAIHDE

Rautatievaihteen avulla liikenne voidaan haluttaessa ohjata raiteelta toiselle. Toisin sanoen vaihde on raiteiden ja koko ratatekniikan liityntäkohta. Niissä liittyvät kiskot ja pölkyt kiinnitysosineen turvalaitetekniikkaan ja materiaalivaatimuksiin. (Nummelin 1994) Vaihteiden avulla myös mahdollistetaan tarkoituksenmukainen junaliikenne suunnittelemalla erilaisten ratkaisujen avulla erilaisia yhteyksiä ja nopeuksia raiteiden välille. (Liikennevirasto 2012) Tässä luvussa esitellään vaihteiden yleisiä ominaisuuksia ja suunnitteluperusteita, jotka vaikuttavat osaltaan myös vaihteiden nostoihin. Lisäksi tässä luvussa kerrotaan nykyiset tarpeet vaihteiden vaihdolle ja esitellään erilaisia käytössä olevia vaihtotapoja.

2.1 Vaihteen perusosat

Yksinkertaisimmin vaihde koostuu suorasta ja poikkeavasta raiteesta. Teknisesti vaihde on kuitenkin hyvin haastava. Yksinkertaisessa vaihteessa on aina seuraavat pääosat: kielisovitus, vaihteen asetin, välikiskot, 1-kärkinen risteys sekä vastakiskosovitukset. (Liikennevirasto 2012) Nämä perusosat on tavallisesti jaoteltu kolmeen elementtiin: kielisovituselementtiin, välikiskoelementtiin sekä risteys- ja vastakiskoelementtiin. Tämän työn kannalta elementteihin jaottelu on erittäin keskeistä, sillä juuri näitä kolmea elementtiä siirrellään ja kuljetetaan toimintavalmiina kokoonpanopaikasta asennuspaikkaan. (Nummelin 1994) Vaihteen eri elementit sekä etu- ja takajatkokset on esitelty kuvassa 1. Näiden elementtien rakenteeseen ja toimintaan paneudutaan syvemmin luvussa 3.

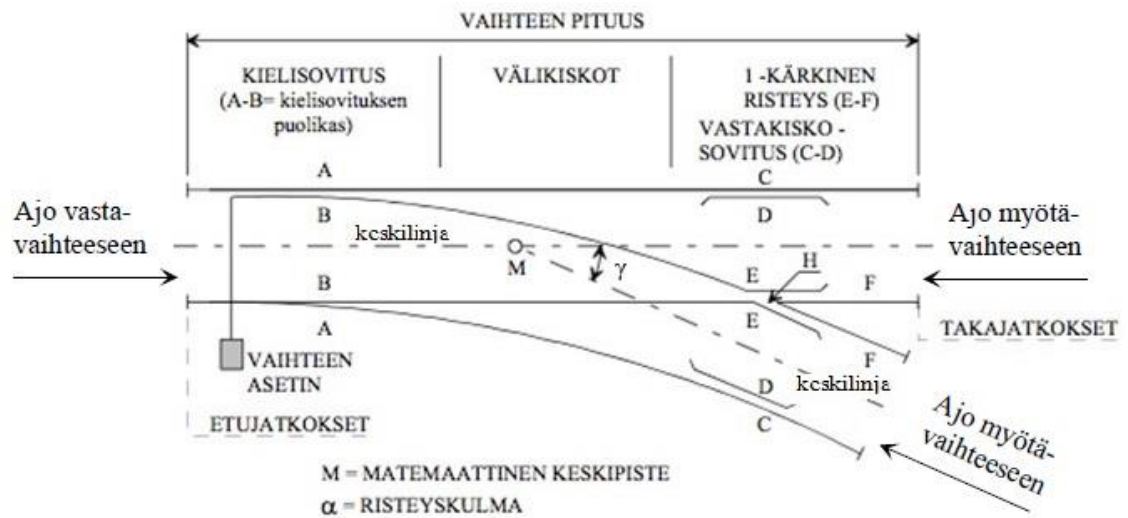


Kuva 1. Vaihteen eri elementit (muokattuna lähteestä Pollari 2011)

Edellä mainittujen ja kuvassa 1 esiteltyjen kolmen elementin lisäksi kuvassa oleva takajatkosalue saatetaan koota valmiiksi niin kutsutuksi takajatkoselementiksi. Kokoamalla takajatkosalue valmiiksi elementiksi saattaa koko vaihteen asennustyö nopeutua merkit-

tävästi. (Nummelin 1994) Tässä työssä paneudutaan kuitenkin pääasiassa kolmeen pääelementtiin, joita ovat kielisovituselementti, välikiskoelementti ja risteys-elementti.

Vaihteilla voidaan myös nähdä olevan sekä etu- että takapää. Vaihteen etupää on se pää, jossa ovat kielten kärjet, vastaavasti takapäässä ovat kärkikiskojen loppuosat. Sekä vaihteen etu- että takapäähän liitetään aina myös jatkokset, joko etu- tai takajatkokset. Jatkosten tehtävänä on toimia vaihte-elementin sekä normaalin raideosuuden välikappaleena. (Nummelin 1994) Yksinkertainen vaihte on vaihteen perusmuoto ja sen perusosat on esitelty kuvassa 2.



Kuva 2. Vaihteen perusosat (muokattuna lähteestä Liikennevirasto 2012).

Vaihteen perusosat on merkattu kuvaan kirjaimin ja symbolein ja niiden merkitykset ovat selitetty ohessa.

- A tarkoittaa tukikiskoja ja B kieliä. Yhdessä tukikiskot ja kielet muodostavat kielisovituksen, jotka ovat kielisovituselementin pääosat.
- C on vastakiskon tukikisko ja D vastakisko. Vastaavasti tukikisko ja vastakisko muodostavat yhdessä vastakiskosovituksen.
- E:llä tarkoitetaan siipikiskoja.
- F on kärkikisko. Kärkikiskot muodostavat risteyskärkiosan ja siihen hitsatut jatkekiskot. Yhdessä siipikisko ja kärkikisko muodostavat 1-kärkisen risteyskärkiosan.
- M on vaihteen matemaattinen keskipiste, joka sijaitsee vaihteen risteyskulman mukaan suoran ja poikkeavan raiteen keskilinjoiden leikkauspisteessä.
- H on risteyskärkiosan matemaattinen risteyspiste eli risteyskärkiosan kulkureunojen leikkauspiste.
- γ tarkoittaa vaihteen risteyskulmaa, joka normaalisti on tapana ilmoittaa vaihteen risteyskuhteena, kuten 1:9. (Liikennevirasto 2012)

2.2 Vaihteen merkintä

Vaihteita on lukuisia erilaisia ja jokainen vaihde merkitään aina samalla tavalla. Näin vaihteesta saadaan helposti ja nopeasti aina selville kaikki tarpeellinen tieto. Nykyiset vaihteen tyyppimerkinnot perustuvat kansainväliseen käytäntöön. (Nummelin 1994) Esimerkiksi vaihteessa YV60-300N-1:9-O, joka on yksi tässä työssä tutkittava vaihdetyyppi, vaihteen merkinnät tarkoittavat seuraavaa:

- YV tarkoittaa vaihdetyyppeä. Tässä esimerkissä kysymys on yksinkertaisesta vaihteesta. Muita vaihdetyyppejä ovat TYV, KV, YRV, KRV, SKV, UKV, RR ja SRR, joiden merkitykset on selitetty lyhenteissä ja seuraavassa kappaleessa aina kyseisenomaisen vaihdetyypin kohdalla.
- Merkintä 60 tarkoittaa kiskopainoa metriä kohden eli kiskon paino on noin 60 kg/m. Tässä tapauksessa kyseessä on 60E1-kiskoprofiili, joka yhdessä 54E1-kiskoprofiilin kanssa on kaikkein tavallisimmin käytetty kiskoprofiili vaihteissa.
- Seuraavana merkinnässä on kaarresäde, tässä tapauksessa 300 metriä.
- N tarkoittaa lisätietoa. Yleensä tämä tarkoittaa lisätietoa raidelevyeyden levityksestä, jos kyseessä olevalla vaihdetyypillä on levitykselliset ja levityksettömät versiot. N-kirjain tarkoittaa että levitystä ei ole.
- 1:9 tarkoittaa risteyssuhdetta.
- Viimeisenä merkinnässä on vaihteen kätisyys, joka tässä esimerkissä on oikeakätinen. V-kirjaimella merkitään vasenkätinen risteys. Vaihteessa voidaan ajaa myötä- tai vastavaihteeseen. Vastavaihteeseen ajettaessa on junalle mahdollista muodostaa kaksi eri kulkusuuntaa ja vaihteen kätisyys määritellään sen mukaan, kumpaan suuntaan poikkeava raide erkane. Myötä- ja vastavaihteeseen ajo on esitetty kuvassa 2. (Liikennevirasto 2012)

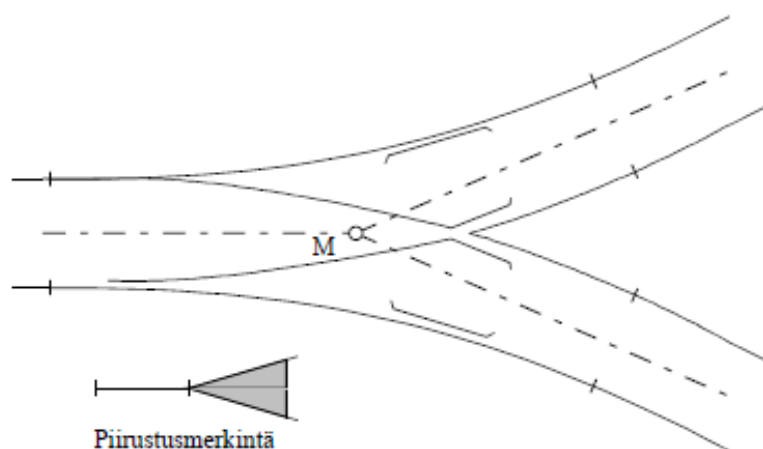
2.3 Vaihteiden luokittelu ja vaihdetyypit

Vaihteita voidaan luokitella muutamalla eri tavalla. Yksi tapa on luokitella vaihteet niiden nopeuden mukaan, jolloin vaihteet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan: lyhyisiin, pitkiin ja suurnopeusvaihteisiin. Lyhyissä vaihteissa risteyskulma on 1:9 tai jyrkempi. Myös vaihteet, joiden poikkeavan raiteen kaarresäde on enintään 300 metriä, ovat lyhyitä vaihteita. Lyhyissä vaihteissa poikkeavalla raiteella suurin sallittu nopeus on enintään 40 km/h. Pitkissä vaihteissa poikkeavalla raiteella sallitaan yli 40 km/h nopeus, vaihteiden risteyssuhde on loivempi kuin 1:9 ja suurimmillaan 1:18 sekä kaarresäde yli 300 metriä. Kaikki tätä suuremmat vaihteet luokitellaan suurnopeusvaihteiksi, joissa risteyssuhde on 1:26 tai 1:28 sekä nopeus poikkeavalla raiteella jopa 160 km/h. (Liikennevirasto 2012) Suomessa entistä pidempien vaihteiden tarve on viime vuosikymmeninä lisääntynyt merkittävästi. Suomen yksiraiteinen rataverkko vaatii mahdollisuuden ajaa junien kohtauspaikoille entistäkin nopeammin. Toisaalta useampiraiteisilla osuuksilla eli osuuksilla, joissa on käytettävissä kaksi tai useampia raiteita, junien täytyy myös

pystyä tarvittaessa vaihtamaan raidetta nopeasti. Pitkissä vaihteissa elementit ovat huomattavasti pidemmät ja painavammat kuin lyhyissä vaihteissa ja vaativatkin kuljetukselta, nostoilta ja koko kunnossapitovaiheelta enemmän. Pisimmissä vaihteissa voi olla jopa kaksi välikiskoelementtiä. (Nummelin 1994)

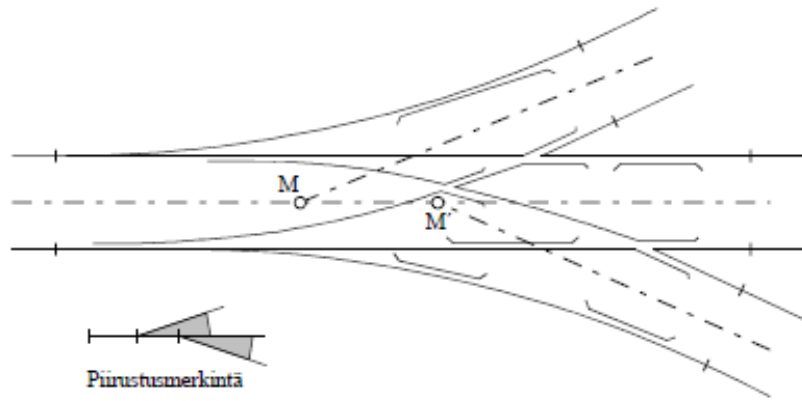
Toinen tapa luokitella vaihteet on tehdä luokittelu niiden kulkutiemahdollisuuksien mukaan. Tällöin vaihteet jaetaan yksinkertaisiin vaihteisiin, kaksoisvaihteisiin, risteysvaihteisiin ja raideristeyksiin. (Nummelin 1994) Yksinkertainen vaihde (YV) on Suomessa ylivoimaisesti yleisimmässä käytössä oleva vaihdetyyppi. Yksinkertaisessa vaihteessa raide haarautuu kahdeksi raiteeksi eli siinä on suora ja poikkeava raide. Yksinkertainen vaihde on esitetty kuvissa 1 ja 2. (Liikennevirasto 2012)

Tasapuoliset vaihteet ja kaarrevaihteet ovat yksinkertaisen vaihteen erikoismuotoja. Tasapuolisissa vaihteissa (TYV) ei ole suoraa raidetta, vaan raiteet kaartuvat yhtä paljon matemaattisen pisteen jälkeen kuvan 3 mukaisesti. (Nummelin 1994) Kaarrevaihteet voivat olla joko sisäkaarrevaihteita (SKV) tai ulkokaarrevaihteita (UKV). Kaarrevaihteita tulisi kuitenkin suunnittelussa välttää ja ne ovatkin hyvin harvinaisia. Kaarrevaihteissa pääraide kaartuu oikealle tai vasemmalle ja poikkeava raide kaartuu joko sen suuntaisesti tai siitä poispäin. (Liikennevirasto 2012)



Kuva 3. Tasapuolinen yksinkertainen vaihde (Liikennevirasto 2012).

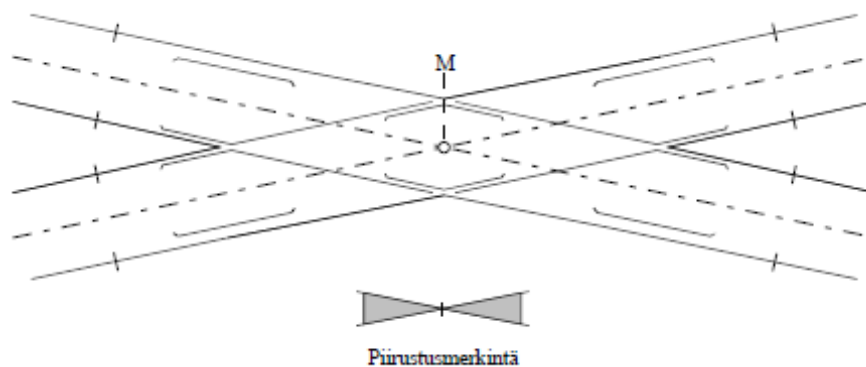
Kaksoisvaihteessa (KV) yksi raide haarautuu kahden sisäkkäin kytketyn yksinkertaisen vaihteen avulla kolmeksi raiteeksi, kuten kuvasta 4 voidaan havaita. Kuvaan on myös merkitty molempien vaihteiden matemaattiset pisteet. (Liikennevirasto 2012)



Kuva 4. Vasemmanpuolinen kaksoisvaihde (Liikennevirasto 2012).

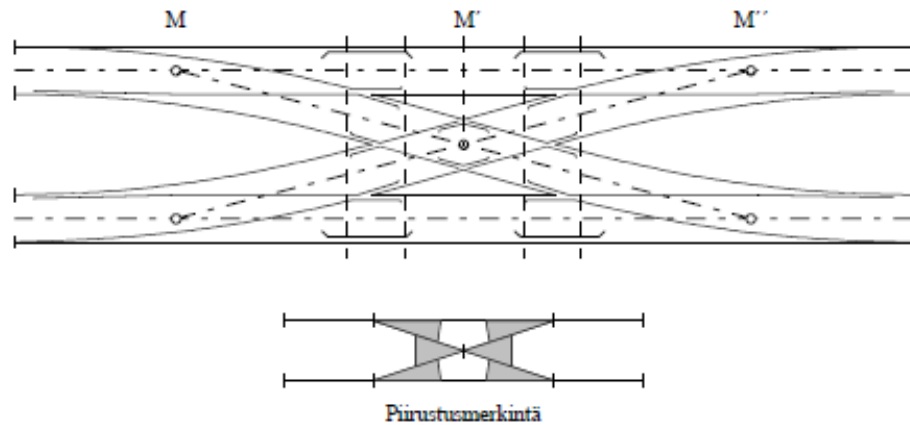
Vaihteessa ensimmäinen kielisovitus on perusvaihteen kielisovitus, mutta toinen kielisovitus on erikoisrakenteinen. Kuten kuvasta 4 voidaan havaita, kaksoisvaihteessa on kolme risteystä, joista yksi on erikoisristeys ja kahden muun tyyppi muotoutuu sen mukaan, minkälaisista yksinkertaisista vaihteista kaksoisvaihde on koottu. (Nummelin 1994)

Raideristeys (RR) tarkoittaa kahden raiteen risteyskohtaa ja niissä on neljä risteystä, joista kaksi on 2-kärkistä ja kaksi 1-kärkistä risteystä. Raideristeysissä olisi tarkoitus käyttää standardiratkaisuja, jotka sovitetaan muuhun rataan. Kuitenkin esimerkiksi teollisuusalueilla saatetaan suunnitella erikoisratkaisuja. Kuvan 5 mukaisessa raideristeysessä ei ole ollenkaan liikkuvia osia, vaan se on suunniteltu raiteiden risteyskohdaksi. (Nummelin 1994)



Kuva 5. Raideristeys (Liikennevirasto 2012).

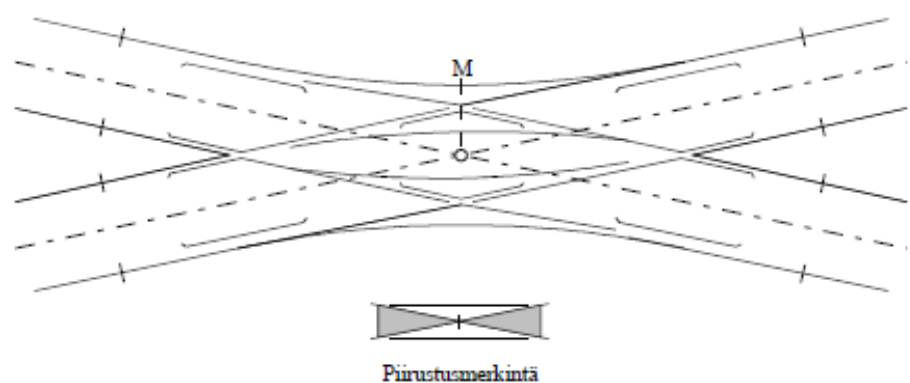
Sovitettu raideristeys (SRR), joka on esitelty kuvassa 6, on monien risteysten ja neljän vaihteen avulla muodostettu yhdistelmä. Sovitettu raideristeys on haastava rakenne ja tapana onkin käyttää raideristeysnormaalitapausta, valmiiksi 4800 millimetrin raideleveydelle mitoitettua rakennetta osana sovitettua raideristeystä. Sovitetun raideristeysnormaalitapausta voidaan mahdollistaa useita eri kulkureittejä. (Liikennevirasto 2012)



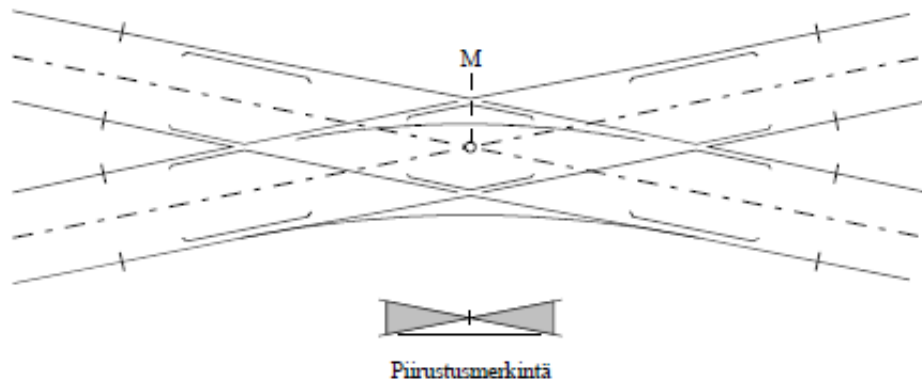
Kuva 6. Sovitettu raideristeys (Liikennevirasto 2012).

Sekä raideristeyksessä että sovitetussa raideristeyksessä 2-kärkisten risteysten kohdalle syntyy niin kutsuttu ohjaukseton osuus. Tämä osuus syntyy siitä, että vaihteen risteykset asennetaan vastakkain. Tämän osuuden aikana juna kulkee hetken matkaa ilman normaalia ohjausta, mutta vastakiskojen pienellä korottamisella saadaan kuitenkin tarpeellinen varmuus ohjauksettomalle osuudelle. (Liikennevirasto 2012) Nämä vaihdetyypit ovat myös nostojen ja kuljetusten osalta huomattavasti yksinkertaista vaihdetta haastavampia.

Risteysvaihteita on olemassa kuvien 7 ja 8 mukaisesti sekä kaksipuolisia risteysvaihteita (KRV) että yksipuolisia risteysvaihteita (YRV). Vaihteet suunnitellaan rakentamalla ne raideristeyksestä, johon asennetaan yksipuolisessa risteysvaihteessa kaksi kielisovitusta eli yksi kielisovituspari tai kaksipuolisissa risteysvaihteissa neljä kielisovitusta eli kaksi kielisovitusparia. (Liikennevirasto 2012)



Kuva 7. Kaksipuolinen risteysvaihde (Liikennevirasto 2012).



Kuva 8. Yksipuolinen risteysvaihte (Liikennevirasto 2012).

Yllä olevien kuvien mukaan voidaan havaita, että kaksipuolisiin risteysvaihteisiin syntyy näin neljä kulkumahdollisuutta ja yksipuolisiin risteysvaihteisiin kolme. (Liikennevirasto 2012) Tässä tutkimuksessa keskitytään nimenomaan lyhyisiin yksinkertaisiin vaihteisiin, sillä ne ovat rataverkollamme yleisimpiä ja niitä voi vaihtaa yleiskäyttöisillä työvälineillä.

2.4 Vaihteen valinta

Vaihteet ovat erittäin haasteellisia rakenteellisia elementtejä. Lisäksi vaihteet vaativat aina suuremman investoinnin. Yksi metri vaihteessa on yleensä jopa neljä kertaa kalliimpi metriä kohden kuin normaali raide. (Lichtberger 2011) Vaihteiden mitoitus tulee tehdä mahdollisimman tarkkaan, jotta tiettyyn radan kohtaan saadaan kaikkein parhaiten liikennettä palveleva vaihte. Vaihteet ovat osa päällysrakennetta sekä radan geometriaa ja niiden tavoite on sallia turvallinen liikennöinti suunnitelluille akselipainoille ja nopeuksille ilman rajoituksia. Vaihteiden mitoitus tapahtuu pitkälti rakenteen ja nopeusvaatimusten kautta, mutta suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös useita muita mitoitusperusteita, kuten raideleveys, poikittaiskiihtyvyys ja nykäys, kaarregeometria, vaihteen ja pyörän vuorovaikutus sekä risteysuhteet. Vaihteen mitoituksella on oleellinen merkitys vaihteen kunnossapitoon ja sen tulevaan vaihdon tarpeeseen. Lisäksi vaihteen mitoitus vaikuttaa vaihte-elementtien ominaisuuksiin ja luo raja-arvoja sen nostoille ja kuljetukselle. (Liikennevirasto 2012)

2.4.1 Nopeus vaihteessa

Vaihteissa nopeus mitoitetaan aina erikseen suoralle ja poikkeavalle raiteelle. Suoralla raiteella pitää pystyä ajamaan samaa nopeutta kuin rataosuudella muuten, mutta poikkeavalla raiteella kaarresäde rajoittaa nopeutta. Suunnittelun lähtökohtana ovat yleensä poikkeavalle raiteelle haluttu raiteen suurin nopeus, nopeudesta aiheutuva suurin sallittu poikittaiskiihtyvyys sekä varsinkin suurilla nopeuksilla poikittaiskiihtyvyyden muutok-

sesta aiheutuva nykäys. (Nummelin 1994) Vaihteen poikkeavan raiteen teoreettinen raiteen suurin nopeus voidaan laskea kaavalla

$$V = 2,9\sqrt{R}, \quad (1)$$

jossa R on kaarresäde metreissä. (Liikennevirasto 2012)

Käytännössä kuitenkin vaihteen kunnon huononemisen ja nykäyksen takia kaava 1 sallii hieman liian suuria nopeuksia. (Nummelin 1994) Aiemmin esitellyissä lyhyissä vaihteissa sallitaan poikkeavalla raiteella enintään 40 km/h nopeus kaavasta 1 poiketen. Pitkissä vaihteissa sallitaan vaihteen tyypistä riippuen taulukossa 1 mainittuja nopeuksia.

Taulukko 1. Raiteen suurimmat nopeudet eri vaihdetyyppien suoralla ja poikkeavalla raiteella (Liikennevirasto 2012 ja Nummelin 1994)

Vaihdetyyppi	Nopeus poikkeavalla raiteella (km/h)	Nopeus suoralla raiteella (km/h)
YV60-300-1:9	40	200
YV60-500-1:11,1/1:14	60	>200
YV43-530-1:15	70	110
YV54-900-1:15,5	80	140
YV60-900-1:15,5/1:18	80	>200
YV60-5000/2500-1:26	140	>200
YV60-5000/3000-1:28	160	>200

Kuten taulukosta 1 havaitaan, varsinkin kiskopainolla 60E1 varustettujen vaihteiden suoralle raiteelle saadaan korkea nopeus, mutta poikkeavalla raiteella suurin sallittu nopeus vaihtelee vaihteen tyypistä riippuen merkittävästi. Vaihteiden kiskopaino ei kuitenkaan rajoita nopeutta. Vaihteet suunnitellaan siten, että kiskopaino on sama tai raskeampi kuin siihen liittyvien raiteiden kiskopaino. Lisäksi taulukosta voidaan havaita, kuinka poikkeavalla raiteella risteyskulmalla ei ole merkitystä liikennöintinopeuteen, vaan siihen vaikuttaa kiskopainon lisäksi kaarresäteen suuruus. (Nummelin 1994)

Vaihteeksi pyritään valitsemaan yksinkertainen vaihde aina kun mahdollista. Muita vaihdemuotoja voidaan käyttää sivuraiteissa, mutta pääraiteissa niitä tulisi käyttää vain välttämättömissä tilanteissa. Varsinkin raideristeyksissä on jatkuvia kunnossapitongelmia ja sovitetussa raideristeyksessä virheet siirtyvät pitkien pölkkyjen kautta raiteelta toiselle. (Nummelin 1994) Myös tästä valintaperusteesta johtuen tässä työssä keskitytään yksinkertaisiin vaihteisiin.

2.4.2 Vaihteen rakenne

Vaihteen rakenne ja geometria suunnitellaan täyttämään sille asetetut vaatimukset sen jälkeen, kun haluttu liikennöintinopeus on päätetty. Vaihteen rakenteen suunnittelulle

on määritelty seuraavat suunnitteluperusteet, jotka rakenteen tulee täyttää. Näiden kaikkien suunnitteluperusteiden pysyvyys tulee taata myös vaihteen vaihdon yhteydessä.

- Junan tulee kulkea vaihteessa pehmeästi ja sysäyksettömästi riippumatta kulkusuunnasta, nopeudesta ja akselipainosta.
- Vaihteen mahdollinen pieni virhe ei saa suistaa junaa radalta.
- Junan kuormittaessa kieliä tulee niiden liittyä tiukasti tukikiskoon ja asentojen on oltava tukevat.
- Vaihteen osien tulee olla kestäviä ja pienin kustannuksin kunnossapidettäviä
- Vaihteen tulee olla kaikissa olosuhteissa käännettävissä tarpeellisella varmuudella ja riittävän kevyesti
- Vaihteeseen tulee voida asentaa kaikki tarpeelliset varusteet ottaen huomioon myös sen talvikunnossapito. (Liikennevirasto 2012)

Pyörän vuorovaikutus vaihteen kanssa vaikuttaa koko vaihteen mitoittamiseen. Pyörät on suunniteltu kartiomaiseen muotoon, joka ohjaa niiden kulkua raiteella. Varsinkin kieli- ja vastakiskosovituksissa sekä 2-kärkisissä risteyksissä pyörien laipat ohjaavat koko pyöräkerran kulkua. (Liikennevirasto 2012) Vaihteen suoralla raiteella akselipainolla ei ole suoraa vaikutusta voimiin ja siirtymiin, joita vaihteeseen kohdistuu, vaan määräävät tekijät ovat junan nopeus ja vaihteen kunto. Poikkeavalla raiteella taas suuret akselipainot rasittavat vaihdetta merkittävästi. (Nummelin 1994) Niinpä jo vaihteen rakenteen suunnittelu vaikuttaa sen tulevaan kunnossapitoon ja vaihdon tarpeeseen. Suomessa on tärkeää ottaa huomioon myös sekaliikenne. Vaihteet pitää suunnitella sekä tavaraliikenteelle että henkilöliikenteelle.

2.4.3 Vaihteen geometria

Vaihteen geometrisella kunnolla ja sen pysyvyydellä, junan nopeudella sekä junien akselipainoilla on selkeä keskinäinen riippuvuus. Hyvän geometrian omaava vaihde ei huonone äkillisesti nopeuksia nostettaessa, joten sitä ei tarvitse kunnossapitää läheskään niin paljon kuin huonon geometrian vaihteita. Vaihteita ei näin myöskään välttämättä tarvitse vaihtaa niin nopeasti. Geometrialtaan huonokuntoisissa vaihteissa nopeuden kasvaessa poikittaisvoimat kasvavat merkittävästi, kun taas hyväkuntoisissa vaihteissa ne eivät oleellisesti kasva. (Nummelin 1994)

Poikittaiskiihtyvyys ja nykäys ovat matkustajille epämieluisia tekijöitä. Poikittaiskiihtyvyyttä eli keskeisvoiman aiheuttamaa vaakasuuntaista kiihtyvyyttä syntyy kaarteissa. Normaaleissa ratalinjan kaarteissa poikittaiskiihtyvyyttä voidaan kompensoida siirtymäkaarien ja kallistuksen avulla, mutta vaihteen poikkeavalla raiteella näitä apukeinoja ei aina voida käyttää, ainoastaan suurnopeusvaihteissa käytetään siirtymäkaarta. Pendolinoilla sallitaan esimerkiksi normaalilla raiteella $1,8 \text{ m/s}^2$ sivukiihtyvyys, kun vastavasti vaihteen poikkeavalla raiteella se saa olla vain $0,65 \text{ m/s}^2$. Nykäys taas tarkoittaa kiihtyvyyden muutosta aikayksikössä ja sitä pidetään suoraan matkustusmukavuutta

kuvaavana suureena. Vaihteissa sallitaan $1,1 \text{ m/s}^3$ nykäys, kun vastaavasti normaalilla raiteella sallitaan $0,45 \text{ m/s}^3$ nykäys. (Nummelin 1994) Vertailuna esimerkiksi Sveitsissä sallittu nykäyksen sallittu arvo vaihteessa on $1,2 \text{ m/s}^3$ ja vastaavasti Itävallassa $1,0 \text{ m/s}^3$. (Zwaneburg 2009)

Poikkeavan raiteen kaarregeometrian peruselementti on ympyrä. Tavallisesti poikkeava raide suunnitellaan yhden kaarresäteen avulla, mutta joissain vaihteissa suunnittelu on tehty peräkkäisten erisäteisten ympyröiden avulla. Vaihteen poikkeavan raiteen sallittu nopeus riippuukin täysin kaarresäteestä, ei esimerkiksi vaihteen kulmasta, kuten jo aiemmasta taulukosta 1 voitiin havaita. (Nummelin 1994) Suurnopeusvaihteissa poikkeavan raiteen suunnittelu ympyränkaarella ei kuitenkaan ole paras mahdollinen tapa. Suurnopeusvaihteiden suunnittelussa käytetään usein klotoidia, sillä sen avulla vaihde voidaan saada jopa 15 % lyhyemmäksi. Tämän ansiosta tila, johon vaihde asennetaan, saadaan huomattavasti pienemmäksi. Lisäksi vaihde-elementit ovat pitkissä vaihteissa tällöin myös helpompi valmistaa sekä käsitellä eli nostaa ja kuljettaa. (Lichtberger 2011) Vaihteen geometria ilmoitetaan linjakuviossa. Suoran raiteen piirtäminen on selkeää ja poikkeava raide piirretään suoran raiteen avulla. Linjakuvioihin merkitään vaihteen raiteiden keskilinjat sekä vaihteen matemaattinen keskipiste, joka toimii vaihteen kulman mukaan suoran ja poikkeavan raiteen keskilinjojen leikkauspisteenä. (Nummelin 1994)

Raideleveys vaihteessa suoralla raiteella on 1524 millimetriä, mikä on sama kuin yleinen raideleveys rataverkolla. Kaarrevaihteissa käytetään kaarresäteen vaatimaa raideleveyden levitystä. Raideleveyttä on levitetty myös vaihteessa YV54-225-1:9. Lisäksi TYV- ja KRV-vaihteiden käyrissä kielisovituksissa käytetään 1534 millimetrin raideleveyttä. Myös vaihteiden kärkien alueella raideleveyttä on levitetty vaihdemuodosta riippuen, tavallisesti 1–14 millimetriä. (Liikennevirasto 2012)

Vaihdekujat on suositeltavaa suunnitella yleisten käytössä olevien perusratkaisujen mukaan. Näin turhaa vaihde-elementtien vaihtoa voidaan välttää. Nykyään pyritään käyttämään vaihdekujien lyhyissä vaihteissa vain 1:9-risteyssuhteella olevia vaihteita. Lisäksi vaihdekujat olisi syytä suunnitella mahdollisimman lyhyiksi. (Liikennevirasto 2012) Suunnittelussa ja vaihteen valintaa tehdessä pitää kiinnittää erityistä huomiota myös siihen, että suurin osa liikenteestä ei käyttäisi poikkeavaa raidetta, koska tällöin varsinkin vaihteen asettimen ja viereisien tukikiskojen kuluminen lisääntyy. On perusteltua pyrkiä suunnittelemaan ja valitsemaan vaihteet niin, että suurin osa liikenteestä käyttäisi suoraa raidetta. Tämä vähentää merkittävästi vaihteen kunnossapidon tarvetta ja pidentää koko vaihteen elinkaarta. (Lichtberger 2011)

Suomessa rataverkkoa käyttävät sekä suomalainen että venäläinen kalusto. Kaluston pyöräkertojen ero aiheuttaa kompromisseja vaihteen suunnittelussa varsinkin risteys- ja vastakiskosovituksessa. Tämä aiheuttaa sen, että kumpikaan kalusto ei kulje vaihteessa täysin optimaalisesti ja aiheuttaa varsinkin risteyslementin kulumista. Suomalainen

kalusto kuluttaa erityisesti vaihteen risteysosaa ja venäläinen kalusto vastakiskosovitus-ta. Näiden kompromissien tarve johtuu siitä, että venäläisten pyörien väli on 5 millimet-riä kapeampi kuin suomalaisten, joten vaihteet täytyy mitoittaa niin, että kaikki kalusto kulkee turvallisesti vaihteen läpi. (Nummelin 1994)

2.5 Vaihteiden kunnossapito

Vaihteiden kunnossapito muodostaa radanpidon kustannuksista merkittävän osan. Vaihteen kunnossapito aloitetaan välittömästi vaihteen rataa asennuksen jälkeen. Kunnossapito pitää pystyä suorittamaan oikea-aikaisesti, jotta vaihteen ja sen osien käyttöikä saadaan maksimoitua. Varsinkin tiettyjen kunnossapitotöiden, kuten vaihteen geometriavirheiden korjaaminen, viivästyminen tai suoranainen laiminlyönti lyhentää vaihteen käyttöikää ja aiheuttaa tarpeetonta vaihteen osien vaihtoa. Niinpä vaihteen kunnossapito tulee ajoittaa vaihteen elinkaarikustannusten kannalta mahdollisimman tehokkaasti. (Liikennevirasto 2013b) Vaihteen peruskunnossapitoon kuuluvat päivittäinen kunnossapito, mahdollisesti tarvittavat vaihteen tukemiset, tarkastukset sekä talvikunnossapito. Erikseen tilataan työt, jos vaihde vaatii routasuojasta, perusteellista kunnostusta tai kokonaan uuden vaihtoa. (Liikennevirasto 2014)

Jokaisella rataverkon vaihteella on vastuuhenkilö, joka vastaa vaihteen kunnossapidosta. Vaihteen kunnossapito tulee hoitaa siten, että vaihde ja vaihdealue ovat suurimmilla sallituilla nopeuksilla ja akselipainoilla turvallisesti liikennöitävissä. Vaihteen vaihdon yhteydessä tukikerros vaihdetaan aina uuteen, riippumatta siitä onko se soraa vai sepe-liä. (Liikennevirasto 2013b ja Väisänen 2015) Myös Iso-Britanniassa ja Sveitsissä vaihdetaan aina tukikerros vaihteen vaihdon yhteydessä. (Mainline 2014) Ratojen kunnossapidosta aiheutuva ratatyö voidaan jakaa kahteen luokkaan, ennalta suunniteltuun rata-työhön ja kiireelliseen ratatyöhön. Vaihde-elementtien vaihto on aina ennalta suunnitel-tua ratatyötä. (Liikennevirasto 2015c)

2.5.1 Vaihteiden tarkastus

Suomen rataverkolla vaihteista tarkastetaan tietyin väliajoin aina tarvittavat parametrit ja ominaisuudet, joiden avulla arvioidaan niiden kunto, liikennöitävyys ja kunnossapito-tarpeet sekä kunnossapitotöiden ajoitus. Osa vaihteen ominaisuuksista mitataan ja tutki-taan, osa arvioidaan silmämääräisesti. (Liikennevirasto 2013b) Tarkastuksien yhteydes-sä on tarkoitus ehkäistä raideleveyden, tukikiskojen välisen leveyden ja risteysosan lai-pan leveyden muuttumista kohdistamalla kunnossapitotoimet ajoissa kriittisiin kohtiin. (Lichtberger 2011) Onkin arvioitu, että yleisesti ottaen kaikista vaihteen kunnossapito-kustannuksista jopa puolet muodostuu vaihteiden tarkastuksista (Mainline 2014)

Vaihteiden tarkastusvaatimukset ovat taulukon 2 mukaiset:

Taulukko 2. *Vaihteiden kunnon tarkastukset (Liikennevirasto 2013b).*

Vaihdetyyppi	Tarkastuskerrat	Tarkastusväli
Pääraidevaihde, jossa suoran raiteen nopeus on yli 120 km/h	4 kertaa / vuosi	110 vrk
Muut pääraidevaihteet	2 kertaa / vuosi	7 kk
Sivuraidevaihteet	joka toinen kalenterivuosi	26 kk

Vaihteen tarkastukseen kuuluu vaihteen ohella koko vaihdealue. Lisäksi vaihteet, jotka altistuvat tavallista suuremmalle kuormitukselle, on tarkastettava vieläkin tiheämmin. Varsinkin pääraidevaihteet, jotka on suunniteltu siten, että liikennöinti tapahtuu pääsääntöisesti poikkeavalle raiteelle, kallistetut kaarrevaihteet sekä laskumäkivaihteet tulee tarkastaa tiheennetysti, mistä päättää aina Liikennevirasto. Vaihteen kunnossapidon yhteydessä tehdään myös sen uusimisen suunnittelua. Varsinkin pääraidevaihteille tehdään ainakin kerran vuodessa laajennettu tarkastus, jonka yhteydessä suoritetaan normaalien tarkastusten lisäksi hitsaustekniset tarkistukset. Sivuraiteille laajennettu tarkastus tehdään aina normaalin tarkastuksen yhteydessä. Jos vaihto suunnitellaan suoritettavaksi seuraavan viiden vuoden aikana, tulee vaihteeseen tehdä laajennettu tutkimus vähintään joka vuosi. (Liikennevirasto 2013b)

Tällä hetkellä vaihteen vaihdon ajankohta perustuu tarkastuksen tehneen henkilön asiantuntemukseen. Tarkastuksessa annetaan virhepisteet tietyille vaihteen ominaisuuksille ja vaurioille, joiden avulla kuntoa arvioidaan. Kiireellisin vaihdon tarve on yleensä niillä vaihteilla, joiden rakenteelta vaaditaan paljon, sijainti rataverkolla on haastava tai sekä raskaan liikenteen että henkilöliikenteen yhteismäärä on suuri. (Liikennevirasto 2014)

2.5.2 Vaihteiden vaihdon tarve

Suomen rataverkon kehitys keskittyy tällä hetkellä pääasiassa nykyisen rataverkon kunnossapitoon ja ylläpitoon. Vaihde-elementtien nostojen ja kuljetuksen tarve muotoutuukin lähes täysin vaihteiden vaihdon ja kierrätyksen pohjalta, ei uusien vaihteiden asennuksien tuomana. Toisaalta elementtien käytön suurin hyöty saadaankin juuri kunnossapidon kautta, jolloin elementtien avulla liikenne joudutaan pysäyttämään lyhyemmäksi aikaa kuin paikalla rakentaessa.

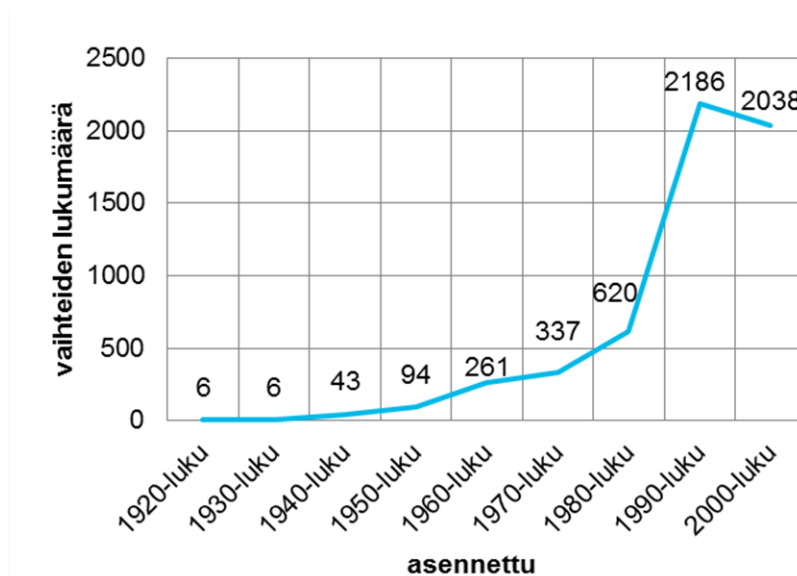
Liikenneviraston teettämän selvityksen (Virtala et al. 2011) mukaan Suomen väyläomaisuuden korjausvelka oli vuonna 2011 yhteensä 2165 M€. Tästä osuudesta rautateille kohdistuu 1115 M€ ja pelkästään vaihteisiin arvioitiin kohdistuvan 27 M€ korjausvelka. Vuoden 2011 alussa vaihteita oli 5638 kappaletta ja silloin niiden määrät jakautuivat taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Eri vaihdetyyppien lukumäärä Suomessa vuoden 2011 alussa (Pollari 2011)

Liikenneviraston vaihteet	Lyhyet	Pitkät (YV60-900-1:18)	Pitkät (YV60-500-1:14)	Suurnopeus	
	5170	450	3	15	
	60E1	54E1	K43	K30	
Yksinkertainen vaihde	1179	2858	892	292	5221
Kaksoisvaihde	0	69	31	8	108
Risteysvaihde	0	232	32	2	266
Raideristeys	4	35	4	0	43
	1183	3194	959	302	5638
Yksityisraiteiden vaihteet					2483
Kaikki yhteensä					8121

Vastaavasti vuoden 2014 lopussa Liikenneviraston hallinnoimalla rataverkolla oli 5380 rautatievaihdetta, joten vaihteiden lukumäärä on pienentynyt muutamassa vuodessa noin 300. Kaiken kaikkiaan vuonna 2014 asennettiin rataverkolle vaihteita 132 kpl, joista 112 kpl oli kokonaan uusia ja 20 kpl vaihdehalleilla kunnostettuja vaihteita. (Liikennevirasto 2014) Vuonna 2010 vaihteiden keski-ikä oli noin 17,2 vuotta (Pollari 2011) ja vuonna 2014 keski-ikä oli 18,0 vuotta. (Liikennevirasto 2014)

Kuvasta 9 voidaan havaita, että suurin osa Suomen rataverkon vaihteista on asennettu 1990 ja 2000 -luvuilla.



Kuva 9. Vaihteiden asennusmäärä vuosikymmenittäin (muokattuna lähteestä Pollari 2011)

Vuosittain Suomen rataverkolle asennetaan noin 130–160 vaihdetta. Vaihteen käyttöikä on noin 20–40 vuotta ja vuosittaiseksi vaihtotarpeeksi arvioitiin vuonna 2011 noin 200 vaihdetta. (Pollari 2011). Vuosille 2014–2019 on esitetty yhteensä 367 vaihteen vaihtokohdetta, missä 32 vaihdetta poistettaisiin kokonaan. Määristä voidaankin havaita, että

vaihteita ei vaihdeta riittävän paljon, joten korjausvelka kasvaa koko ajan. Vaihdetujen vaihteiden keski-ikä on viime vuosina ollut keskimäärin 30 vuotta. Vuosille 2014–2019 vaihdettavaksi esitetyistä vaihteista yli 75 % on asennettu rataa vuoden 1990 jälkeen. Vielä ainakin muutamien seuraavien vuosien ajan vuosittaisen vaihtotarpeen ennustetaan edelleen kasvavan. Kiskopainoltaan raskaampien ja betonipölkyin varustettujen vaihteiden käyttöönotto 1990-luvulla kuitenkin nostanee vaihteiden käyttöikää ja tasoi-
taa vaihtotarvetta tulevien vuosien aikana. (Liikennevirasto 2014) Suomen rataverkolla pitää kuitenkin varautua siihen, että muutamien vuosien kuluttua Suomessa täytyisi pys-
tyä vaihtamaan vuosittain yhä enemmän vaihteita. (Pollari 2011)

2.5.3 Vaihteiden kustannukset

Vain vaihteiden kunnossapidosta aiheutuvien kustannusten osuus koko rautatiejärjes-
telmän kunnossapitoon ovat merkittävät. Nummelin (2004) on arvioinut että vaihteista
aiheutuu jopa 25 % kaikista kunnossapito- ja uusimiskustannuksista rataverkossamme.
Vaihteiden herkäät ja liikkuvat osat ovat haasteellisia ja kalliita kunnossapitää. Toisaalta
kustannuksia kertyy myös siitä, että pahimmassa tapauksessa koko rataosuus joudutaan
huoltotyön takia katkaisemaan. Niinpä rataverkon haltija ja kunnossapitäjät ovat kiinnit-
täneet enenevässä määrin huomiota huoltotöiden täsmällisyyteen ja työn tekemisen edel-
lytyksiin, jotka myös vaikuttavat kunnossapitokustannuksien kasvuun. (Nummelin
2004)

Vuonna 2004 (Nummelin 2004) arvioitiin että yhden vaihteen korjaus vastaa kustan-
nuksiltaan samaa kuin noin 330–450 metriä radan kunnossapitoa. Joissain tapauksissa
kustannukset voivat olla jopa suuremmat. Vaihteen vaihdon kustannuksienkin voidaan
periaatteessa nähdä olevan sidottu vaihteen kaarresäteen suuruuteen. Kustannukset yh-
den vaihteen vaihdosta ovat noin 200 000–300 000 euroa, jos poikkeavan raiteen nope-
us on 80–140 km/h eli vaihteessa kaarresäde on 900 metriä tai yli. Jos taas poikkeavalla
raiteella saa ajaa 30–70 km/h eli poikkeavan raiteen kaarresäde on alle 900 metriä, vaih-
teen vaihtokustannukset ovat 50 000–150 000 euroa vaihdetta kohden. (Nummelin
2004) Pelkkien vaihtokustannuksien lisäksi myös vaihde pitää hankkia. Vuoden 2014
hintatasolla uuden vaihteen hankintakustannuksia on koottu ja vertailtu taulukossa 4.

Taulukko 4. Vaihteen kustannusjakauma (Pasanen 2014).

Vaihde	Kokoonpano (€)	Käntölaitteet (€)	Teräsosat (€)
300-1:9	40 000	10 000	30 000
500-1:14	60 000	20 000	45 000
900-1:18	70 000	20 000	50 000
2500/5000-1:26	160 000	60 000	175 000

Taulukon 4 kustannusten lisäksi eri vaihteissa on myös muita komponentteja vaihde-
tyypistä riippuen erimääriä. Tässä työssä tarkastellaan pääasiassa YV60-300-
1:9/1:11,1/1:14 -vaihteita. Vaihteen vaihtokustannuksista muodostuu suunnilleen yhtä

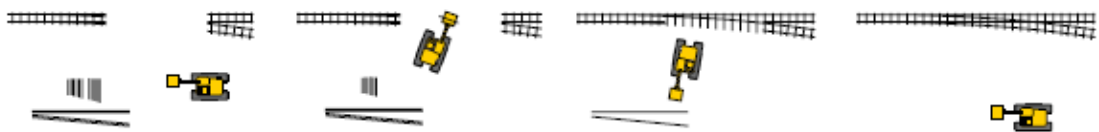
suuri tai jopa suurempi osa kokonaiskustannuksista kuin itse vaihteen valmistuksesta. Taulukon 4 mukaan YV60-300-1:9 -vaihteen hankintakustannukset olisivat yhteensä vähintään 80 000 euroa, joten yhden vaihteen vaihdon kokonaiskustannukset ovat yllä olevien tietojen mukaisesti vähintään 130 000–230 000 euroa.

2.6 Vaihteiden vaihtaminen

Suomessa vaihteiden vaihto tehdään kuljettamalla elementit työmaalle ja asentamalla ne osaksi rataa (Viitala 2015). Vaihteiden uusiminen voidaan kuitenkin tehdä myös muilla tavoilla. Käytössä nähdään olevan kolme eri tapaa:

- a) Vaihte voidaan rakentaa paikanpäällä suoraan rataa, kuvan 10 mukaisesti.
- b) Vaihte voidaan koota paikan päällä asennuspaikan vieressä ja nostaa paikalleen, kuvan 11 mukaisesti.
- c) Vaihte voidaan koota etukäteen elementeiksi esimerkiksi vaihdehallissa ja kuljettaa asennuspaikkaan, kuvan 12 mukaisesti. (Mainline 2014)

Kuvassa 10 on tavan *a* eli paikan päällä koottavan tavan mukaiset päävaiheet. Tällä tavalla vaihdettaessa vaihteen kaikki asennettavat osat toimitetaan radan viereen asennuspaikalle. Tämän jälkeen vaihte rakennetaan paloissa osaksi rataa. Tällä tavalla vaihteita ei juuri kunnossapidetä, koska liikennekatkot tulevat pitkiksi. Tapaa on perusteltua käyttää lähinnä uutta rataa rakennettaessa. Tätä tapaa käytetään ulkomailla, mutta ei Suomessa. Lisäksi sekä logistiikkakustannukset että henkilöstökustannukset nousevat yleensä korkeammiksi kuin elementtien avulla. Tällä tavalla ei välttämättä myöskään pystytä saavuttamaan yhtä hyvää laatua kuin elementtien avulla, koska elementtien avulla vaihteen toimintaa voidaan säätää jo valmiiksi kokoonpanohallissa. (Mainline 2014)



Kuva 10. Paikan päällä rakennettava vaihte (Kirow 2015c).

Vaihteet voidaan vaihtaa myös tavan *b* mukaan eli koota asennuspaikan vieressä valmiiksi elementiksi ja nostaa kerralla rataa, kuten kuvasta 11 voidaan havaita. Tällä tavalla vaihteen asennus voidaan ajoittaa paremmin liikennekatkolle sopivaksi, jotta häiriötä muulle liikenteelle ei pääsisi tarpeettomasti syntymään. Ongelmana saattaa olla hyvän kokoamispaikan tekeminen asennuspaikan viereen, sillä pienikin elementtien kuljettaminen vie tavan hyödyt kokonaan verrattuna tapaan *c*. Lisäksi tässäkin tavassa ei pystyt saavuttamaan yhtä hyvää laatua, sillä vaihdetta ei pystyt etukäteen säätämään. (Mainline 2014)



Kuva 11. Vaihteen kokoaminen asennuspaikan viereen (Kirow 2015c).

Kolmas tapa on valmiiden elementtien kuljetus työmaalle vaihdehallilta ja asennus suoraan rataan eli tapa *c*, joka on esitelty kuvassa 12. Tämä on Suomessa käytössä oleva ja kokoajan Euroopassakin yleistynyt vaihteen vaihtotapa. Tällä tavalla vaihteita voidaan testata ja säätää hallissa ennen rataa asentamista. Näin asennuskatko saadaan entistä pienemmäksi, sillä vaihteet ovat säädetty ja valmiita käytettäväksi. Tällä tavalla myös kokonaiskustannukset muotoutuvat yleensä pienemmiksi. Kaikkein tehokkain tapa käyttää elementtejä on kuljettaa ne asennuspaikkaan juuri oikealla hetkellä. Elementit voidaan periaatteessa tuoda asennuspaikan viereen jo etukäteen varastoitavaksi. Tämä kuitenkin lisää merkittävästi nostojen määrää, joka on vaihteen käsittelyn kannalta kriittinen vaihe tässä työskentelytavassa. Lisäksi varastointialueen löytäminen aivan radan vierestä on yleensä hankalaa. (Mainline 2014)



Kuva 12. Vaihteen rakentaminen elementtien avulla (Kirow 2015c).

Juuri tapa *c* on Suomessa käytetty vaihteen asennustapa ja tässä työssä keskitytään siihen. Nostot ovat samanlaisia kuitenkin vaikka vaihde asennettaisiin tavan *b* mukaan. Deutsche Bahn ja Mainline (Mainline 2014) ovat tutkineet asennustapojen käyttöjakaumaa ympäri Eurooppaa ja huomanneet, että noin 90 % Euroopan maista käyttää tapaa *b* eli vaihteet kootaan vaihteet asennuspaikan vieressä, josta ne nostetaan paikalleen. 9 % asennuksista tapahtuu tavan *a* avulla ja vain 1 % asennuksista tehdään Suomessa käytetyn tavan *c* mukaan eli kootaan etukäteen vaihdehalleissa ja kuljetetaan asennuspaikkaan kokonaisina elementteinä. Kuljetuksen järjestäminen voi olla haasteellista ja niinpä Euroopassa tapa *b* on vielä selkeästi suosituin. On kuitenkin havaittavissa, että elementtien kokoaminen etukäteen vaihdehalleissa ja kuljetus työmaalle tulee yleistymään myös muualla maailmassa tulevaisuudessa. Asennustavan avulla vältetään neuvottelut maanomistajien kanssa, asennuksen jälkeiset työt saadaan vähäisemmiksi, mutta myös itse asennustyöhön käytettävä aika pienenee sekä laatu paranee. (Mainline 2014)

3. VAIHDE-ELEMENTIT

Vaihte voidaan jakaa vähintään kolmeen eri elementtiin. Kielisovituselementti, väliskoelementti ja risteuselementti ovat kaikki erilaisia toisiinsa nähden, mutta pääasiassa ne koostuvat samoista komponenteista. Tässä luvussa käydään läpi tutkittavien vaihteiden ja niiden eri elementtien valmistus, erityispiirteet sekä elinkaari. Luvussa selvitetään kaikkien elementtien kriittiset komponentit ja tilanteet, jossa niihin ei saa kohdistua nostojen aikana rasituksia. Lisäksi on tarkoitus tutkia elementtien eroavaisuuksia tarkemmin ja selvittää, mitä erikoispiirteitä eri elementtien nostoissa tulisi ottaa huomioon.

3.1 Vaihte-elementin valmistus

Suomessa otettiin käyttöön vaihteiden asentaminen elementteinä 1970-luvulla ja tästä asti vaihte-elementit on tuotu asennuspaikkaansa täysin käyttövalmiina. Vaihteissa ovat valmiina myös kääntölaitteet, vaihteen lukot, asettimet, lumen ja jään estolaitteet sekä liityntälaitteet. Esimerkiksi valmiista 60E1-kiskosta tehty 1:9-risteyssuhteella valmistettu vaihte on suuri kokonaisuus, joten tästä syystä se jaetaan kolmeen elementtiin kuljetuksen ja nostojen helpottamiseksi. (Nummelin 2004) Kaikki vaihteet valmistetaan kokoonpanohalleilla. Vaihteiden kokoonpanosta vastaa tällä hetkellä Vossloh Cogifer Oy kahdessa vaihdehallissa Kaipiaisissa ja Pieksämäellä. Kokoonpanoa on jaettu siten, että Pieksämäellä kootaan kaikki 60E1-kiskopainon vaihteet ja Kaipiaisissa 54E1-kiskopainon vaihteet. (Pollari 2015) Vaihteiden eri komponentit, kuten esimerkiksi kielisovitus, risteys ja vastakiskot, saapuvat suoraan valmistajilta sekä Suomesta että ulkomailta riippuen komponentista. Kaikissa pääkomponenteissa on oltava merkinnät, jotta ne voidaan yksilöidä ja jokaisesta komponentista tulisi löytyä ainakin valmistajan tiedot, valmistusvuosi, rataprofiili, vaihteen kätisyys, kulma ja risteyssuhde. (Nummelin 2004)

Vaihteissakin käytettäviä materiaaleja voidaan jaotella kolmeen luokkaan: sitkeisiin, hauraisiin ja orgaanisiin. Näille materiaaleille on ominaista, että ne eroavat huomattavasti toisistaan. (Salmi et al. 2010) Vaihte-elementit koostuvat käytännössä teräsosista ja betonipölkyistä. Näiden eri osien materiaaliominaisuuksien käyttäytyminen on oleellista tietää vaihteen nostoa suunniteltaessa. Ominaisuuksien riittävällä ymmärtämisellä pystytään suunnittelemaan nostot ja kuljetukset siten, että vaihteen kaikki elementit asennetaan osaksi rataa samassa kunnossa, missä ne vaihdehallilta työmaalle saapuvat. Vaihte-elementtien tärkeimmät komponentit ja niiden materiaaliominaisuudet on esitelty tässä kappaleessa.

3.1.1 Kisko vaihteessa

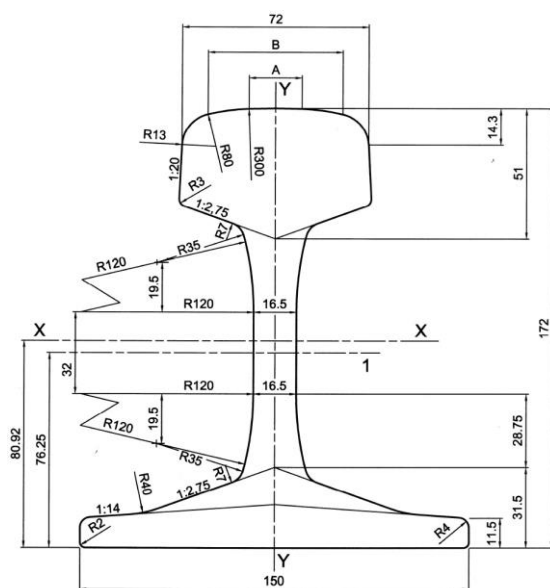
Kiskotyyppejä on olemassa lukuisia erilaisia. Kiskojen muodot ja materiaaliominaisuudet on kehitetty niin, että kiskon ja pyörien käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä. Kisko voidaan nähdä jatkuvana teräsrakenteena, joka omaa tietyn poikkileikkausprofiilin. Kisko on myös suunniteltu niin jäykäksi, että se pystyy välittämään liikenteen siten, että siinä ei synny kohtuuttomia taipumia ratapölkkyjen välillä. (Nummelin 1994) Vaihdelementin nostoissa syntyy kuitenkin tilanne, jossa liikenteen sijaan pölkkyt aiheuttavat kiskoon kuorman ja kiskot pääsevät taipumaan koko matkaltaan.

Teräs on erittäin sitkeä materiaali ja sen ominaisuutena on, että ennen murtumista se venyy voimakkaasti. Vaihteiden teräsosista merkittävimpiä ovat kiskot, mutta vaihteissa on myös muita teräsosia. Kun sitkeän materiaalin normaalijännitystä kasvatetaan kappaleen sisällä, se venyy. Jos jännitystä kasvatetaan riittävän paljon, saavutetaan jännityksen osalta kimmoraja σ_E . Se tarkoittaa tilannetta, mitä ennen venymä on täysin palautuvaa. Kasvatettaessa jännitystä tästä eteenpäin saavutetaan seuraavaksi tilanne, missä materiaali myötää, toisin sanoen sen venymä kasvaa vaikka jännitys ei kasva. Tässä tilanteessa on kappaleen myötöraja ja sitä vastaava jännitys, R_{eH} on kappaleen myötörlujuus. Myötöraja on siis jokin tietty vetojännityksen arvo, jolloin materiaalin muodonmuutos jää pysyväksi. Toisin sanoen, kun jännitys lopetetaan, kappale ei palaudu enää alkuperäiseen muotoonsa. Tämän jälkeen kappale saattaa hieman myötörlujittua, kunnes kuitenkin lopulta saavutetaan murtoraja, missä vastaavaa jännitystä sanotaan murtolujuudeksi R_m . Puristuksessa vastaavat suureet ovat puristusmyötöraja eli tyssäysraja R_e ja puristusmurtolujuus R_m . (Salmi et al. 2010)

Kiskoja voidaan luokitella hyvin monella tavalla. Yleisimmät tavat luokitella kiskot ovat sen profiilin tai kiskopainon mukaan, mutta luokittelu voidaan tehdä myös valmistamisessa käytettävän teräslaadun mukaan. (Liikennevirasto 1998) Yleensä vaihteissa käytetään kiskoteräslaatua R260, mutta jos on oletettavaa, että liikenteestä aiheutuu normaalia suurempaa kuormitusta, voidaan kohdekohtaisesti käyttää kiskoteräslaatua R350HT. (Liikennevirasto 2012) Kiskoteräslaatujen luokittelu perustuu kyseisen kiskon teräslaadun vähimmäiskovuuteen, jota nimessä oleva luku kuvaa. Aiemmin on kiskoteräslaatuja luokiteltu niiden murtolujuuden perusteella, mutta nykyinen kovuuden avulla nimeäminen ja luokittelu on käytännöllisempää. Kiskon kovuus on helpommin mitattavissa ja lujuusominaisuudet saadaan juuri kovuuden avulla selville. (Kauppinen 2011)

Kiskojen jäykkyys muodostuu sekä kiskoteräksen kimmomoduulista E että kiskon poikkileikkauksen mitoista, jotka muodostavat kiskon hitausmomentin I . Kiskossa käytettävän teräksen kimmomoduulin E arvona käytetään yleensä 207 000 MPa. (Peltokangas et al. 2013) Suomessa vaihteissa käytetään tyypillisesti nykyään 54E1 tai 60E1 -kiskopainoja. Tässä työssä tutkitaan vain 60E1-kiskopainon vaihteita. Kiskopainon 60E1 mittoja ja ominaisuuksia on koottu taulukkoon 5.

Taulukko 5. Kiskon 60E1 perusominaisuuksia (Eurocode 2011, Lichtberger 2011, Liikennevirasto 2002 ja Tatasteel 2014).



Kiskopaino	60,34	kg/m
I_x	3038,3	cm ⁴
I_y	512,3	cm ⁴
Neutraaliakseli, y_h	80,92	mm
Pinta-ala, A	7670	mm ²
Suurin vetovoima	1823	kN
Taivutusvastus	335 000	mm ³
Myötöraja	440	Mpa

Tämän tutkimuksen kannalta oleellisin taulukossa 5 esitelty tieto on kiskon myötöraja. Kuten aiemmin esiteltiin, teräs on sitkeä materiaali ja nostojen aikana tulee varmistua, että siihen ei synny pysyviä muodonmuutoksia. Myötörajaa vastaavalla jännityksen arvolla kisko ei enää palaudu alkuperäiseen muotoonsa. Näin ollen nostojen mitoituksessa tulee huolehtia, että syntyvät jännitykset jäävät myötörajan alle, jolloin pysyviä muodonmuutoksia ei nostoissa pääse syntymään (Kerokoski 2015).

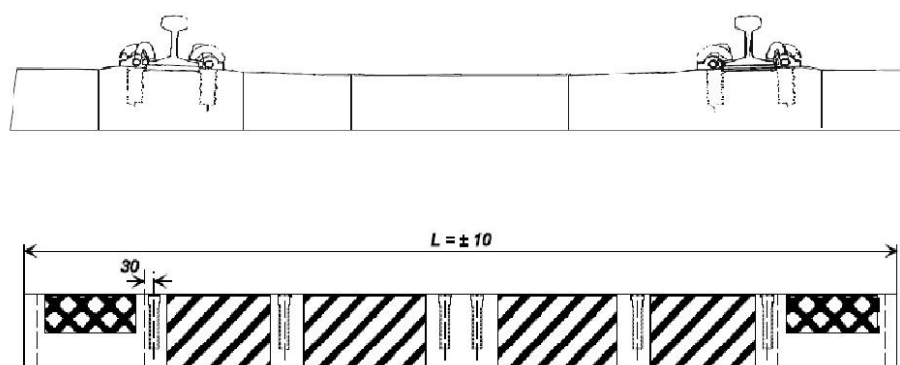
3.1.2 Vaihteen ratapölkky

Kiskojen lisäksi vaihde-elementtien toinen keskeinen komponentti on vaihderatapölkky. Betoniratapölkky eroaa vaihteen pölkystä siten, että normaalissa raiteessa kaikki ratapölkkyt ovat symmetrisiä ja samanmittaisia. Käytössä on myös muita pölkkytyyppejä kuten esimerkiksi puupölkkyt ja teräspölkkyt. Tässä työssä keskitytään kuitenkin betoni-vaihdepölkkyihin, sillä ne ovat uusissa vaihteissa yleisimmin käytettyjä. Vaihteessa pölkkyt ovat myös symmetrisiä, mutta erimittaisia ja jokaisen yksilöllinen mitta ilmoitetaan vaihteen linjakuviossa. Lisäksi betonivaihdepölkkyt ovat erimuotoisia kuin normaalin raiteen betoniratapölkkyt. (Nummelin 1994)

Betoni on esimerkki hauraasta materiaalista eli se murtuu jo pienellä venymällä. Vaihteen betoniosia ovat vaihderatapölkkyt. Haurailta materiaaleilla on mahdollista, että käyttäytyminen vedossa ja puristuksessa eroavat suuresti toisistaan. Betoni on materiaali, joka kestää huomattavasti vähemmän vetoa kuin puristusta. Betonissa on onteloita ja mikrosäröjä eli materiaaliominaisuuksia, jotka heikentävät sen kestävyyttä vedossa. Se on epähomogeeninen rakennusmateriaali eli se koostuu lujuudeltaan erilaisista osista, jotka eivät jakaannu tasaisesti materiaalissa. Lisäksi sen epähomogeenisuutta lisää vielä edellä mainitut materiaalin ominaisuudet. Tästä syystä betonin jännityskenttä ei ole ta-

sainen ja siinä saattaa esiintyä paikallisia jännityshuippuja sekä niiden aiheuttamia mikrohalkeamia. Puristuslujuus onkin betonin tärkein ominaisuus. Normaalisti betoni kestää hyvin puristusta. (Salmi et al. 2010)

Betonivaihdepölkkyjen valmistustapa eroaa normaalin raiteen betonipölkyn valmistuksesta, mikä nostaa myös niiden kunnossapitokustannuksia. Vaihteissa betonivaihdepölkkyt ovat poikkileikkaukseltaan isompia suhteessa ratapölkkyihin, koska niihin kohdistuu erilaisia rasituksia liikkuvan kaluston aiheuttamana kuin normaalin ratapölkkyyn. (Manolo et al 2011) Kuvassa 13 on havainnollistettu normaalin suoran raiteen pölkyn ja betonivaihdepölkyn erilaisia muotoja. Raidepölkkyssä on kiskot kiinnitettyinä aina samoihin kohtiin, kun taas betonivaihdepölkkyissä kiskot tulee kiinnittää aina pölkystä ja kiinnitettävien kiskojen määrästä riippuen eri kohtiin.



Kuva 13. Kiskon paikat tavallisen raiteen betonipölkkyssä ja betonivaihdepölkkyssä (Liikennevirasto 2002).

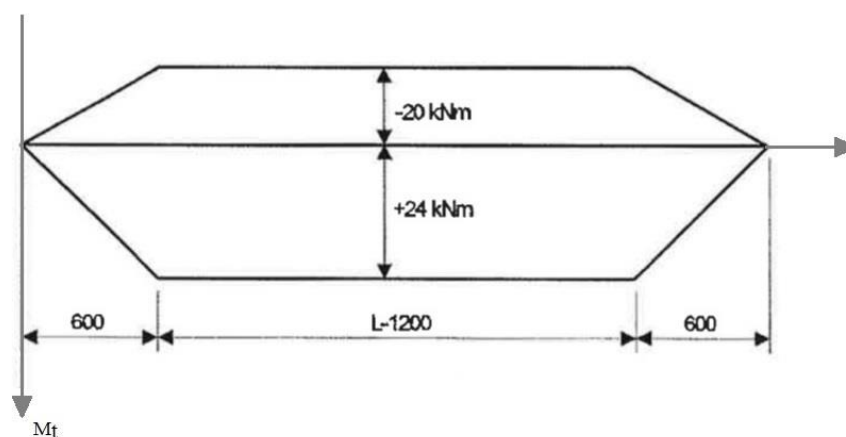
Betonin, jota käytetään pölkkyjen valmistuksessa, tulee olla kestävä ja korkealaatuista. Korkealaatuinen betoni koostuu hyvästä sementistä sekä kiviaineksesta ja oikeasta vesisementisuhteesta. Yleensä hyvä suhde on alle 0,45. Ilman liiallista pääsemistä betoniin tulee välttää, sillä noin 1 % ilman lisäys vastaa suunnilleen 5 % lujuuden laskua. Yleensä alhaisella, noin 3–4 % ilman lisäyksellä, saadaan kuitenkin parannettua betonin pitkäaikaiskestävyyttä ilman sen lujuusarvon liian suurta alenemista. (Nurmikolu et al. 2013 ja Tepponen 2014)

Vaihteen pölkkytyksen suunnittelu aloitetaan jo vaihteen tilausvaiheessa. Jos vaihde on geometrialtaan poikkeava, siitä tulee laatia pölkkytyssuunnitelma, joka on oltava vaihteen asennustyömaalla asentajien käytössä. 60E1-kiskopainon vaihteissa kaikki vaihdepölkkyt ovat niin kutsutun kulmanpuolittajan mukaisessa asennossa eli jokainen pölkky on hieman eri kulmassa. Pölkkyt ovat aina myös keskuskulmansa puolittajan mukaisessa asennossa, jolloin lähes kaikkia vaihdepölkkyjä voidaan käyttää sekä vasenkätisissä että oikeakätisissä vaihteissa. (Nummelin 1994) Suomessa vaihdepölkkyt valmistaa Parma Oy Forssan tehtaalla. Valmistuksen aikana pölkyn ominaisuuksia parannetaan asentamalla sen sisään 20 jänneterästä. Valmistuksen aikana myös raideruuvien holkit asenne-

taan valmiiksi. (Nummelin 2004) Betonivaihdepölkky painaa keskimäärin 137,5 kg/m. (Järveläinen 2015)

Pölkkyt raudoitetaan sekä alaosasta että yläosasta. Suomessa käytetään ratapölkkyissä 6,5 millimetrin halkaisijaltaan olevaa kolmelankaista jänneteräspunosta, jonka teräksen on oltava korkealaatuista. Esijännityksen avulla pienennetään pölkyn halkeiluriskiä. Esijännitysten suunnittelu perustuu täysin junakuormista aiheutuviin rasituksiin ja tästä syystä suurin vetojännitys kohdistuu pölkyn alapintaan kiskon kohdalle, kuvan 14 mukaisesti. Tähän kohtaan pölkkyä tulee myös suunnitella jännitysvoiman aiheuttama betonin suuri puristusjännitys. (Nurmikolu et al. 2013)

Liikennevirasto on laatinut toimitusehdoissaan ohjeet pölkyn mitoitukselle siten, että tekijän on suunniteltava pölkky kestämään kuvan 14 mukaiset ulkoisista kuormista aiheutuvat momenttiarvot.



Kuva 14. Betonivaihdepölkyn sallitut vetojännitykset ja puristusjännitykset (Järveläinen 2015).

Oheisesta kuvasta 14 havaitaan, että jänneterästen ansiosta pölkky saadaan loppujen lopuksi kestämään suunnilleen yhtä hyvin vetoa kuin puristusta. Ratapölkyn suunnittelun lähtökohtana onkin aina halkeilematon pölkky. Muuten mahdollisen taivutusmomentista johtuvan halkeamisen seurauksena esijännityspunosten jännitystaso nousee merkittävästi halkeamissa syntyvien taivutusrasitusten aikana. Tämä taas saattaa johtaa punosten väsymismurtoon, sillä halkeamissa taivutusrasitus kohdistuu vain punoksiin. Tästä syystä esijännityksen mitoitus pölkyn keskelle ja kiskojen kiinnityskohtiin ovat oleellisia tekijöitä ratapölkyn toimivuuden kannalta. Kiskonkiinnityksen kohtaan ei saa syntyä halkeilua eikä murto saa olla hauras, minkä vuoksi sekä esijännityspunosten vetolujuuden että betonin puristuslujuuden tulee olla tasapainossa. Vaihde-elementin nostojen aikana ilmaan nostetaan käytännössä kiskot ja pölkkyt nousevat niiden mukana kiskonkiinnitysten ansiosta. Pölkkyyn nostosta aiheutuvien vaurioiden välttämiseksi nostosta syntyvät voimat tulee pyrkiä jakamaan tasaisesti koko vaihteen rakenteelle. Pölkkyihin kohdistuu myös omasta painosta aiheutuvia jännityksiä ja pieniä muodonmuutoksia. (Nurmikolu et al. 2013 ja Kerokoski 2015)

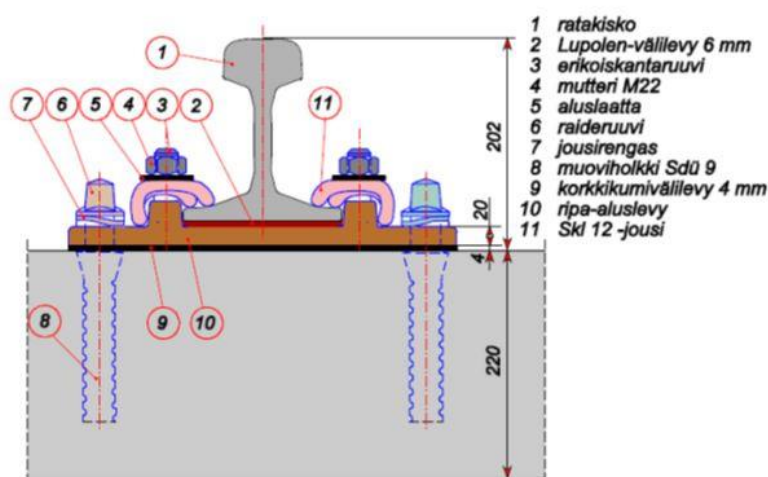
3.1.3 Kiskon kiinnitys

Kiskonkiinnityksillä yhdistetään kiskot ja pölkyt yhdeksi rakenteeksi. Niiden avulla junasta kiskoon kohdistuvat voimat siirretään pölkyille ja sitä kautta radan tukikerrokselle. (Liikennevirasto 2002) Kiskonkiinnitysten tehtävä on estää kiskon kaatuminen ja sivusuuntaiset liikkeet, mutta sallia kuitenkin pystysuuntaiset liikkeet. Kiskonkiinnityksen tulee myös pystyä pitämään kisko pituussuunnassa paikoillaan mahdollisimman hyvin. Pienintä mahdollista voimaa, jolla kisko saadaan liikkumaan kiinnityksessä, kutsutaan läpivetovastukseksi. Läpivetovastusta ei tule ylittää myöskään vaihdelementtejä nosteltaessa. (Nurmikolu et al. 2013) Suomessa kaikissa betonipölkkyvaihteissa, jotka hankitaan uutena, kiskonkiinnitysten läpivetovastus tulee olla vähintään 9 kN. (Liikennevirasto 2002) Erilaisten kiskonkiinnityksien erot ovat niiden jousivoimassa, joka vaikuttaa suoraan läpivetovastukseen. Tässä työssä nostopisteiden mitoitus tehdään sallittavan minimiarvon mukaan. Näin muodostettuja nostopisteitä voidaan käyttää tietylle vaihdetyypille kiskonkiinnityksen tyypistä riippumatta. Kiskonkiinnityksen puristusvoiman lisäksi läpivetovastukseen vaikuttavat myös välilevyn materiaali ja kunto. (Nurmikolu et al. 2013) 60E1-vaihteissa käytetään Skl-jousia, mutta 54E1-vaihteissa saatetaan käyttää myös K-kiinnityksiä. Skl-kiinnitysjousia on erilaisia ja vaihteissa käytetään tavanomaisesti Skl3-, Skl3w- tai Skl12-jousityyppejä. (Liikennevirasto 2012) Jousi kiinnitetään vaihdealuslevyyn M22-kuusiomutterilla ja väliin asennetaan vielä ULS6-aluslaatta, Skl12-kiskonkiinnityksen osat on esitelty kuvassa 15. Tällä tavoin Skl12-jousen avulla saadaan luotua 13 kN pysyvä puristusvoima ja noin 14 millimetrin joustoliike kiinnitysjousta kohden. (Nummelin 1994) Kiskonkiinnitys on nostojen kannalta erittäin keskeisessä asemassa, sillä niiden avulla myös pölkyt nousevat ilmaan. Nostoissa suurimmat rasitukset kohdistuvat kuitenkin kiskoon.



Kuva 15. Skl12-kiskonkiinnityksen osat.

Kiskon ja pölkyn väliin asennetaan vielä vaihdealuslevy, mutta joissakin tapauksissa betoniset pölkyt voidaan myös valaa niin, että vaihdealuslevyjä ei tarvita. Vaihdealuslevyn tehtävänä on antaa kiskolle oikea kallistus ja jakaa siihen kohdistuvat voimat riittävän suurelle pinta-alalle. Vaihdealuslevyjä on monia erilaisia käyttötarkoituksesta riippuen. (Liikennevirasto 2002) Oheisessa kuvassa 16 on esitelty kaikki kiskonkiinnityksen eri osat.



Kuva 16. Kiskon kiinnittämiseksi pölkkyyn tarvittavat komponentit (Liikennevirasto 2002).

Kuvan mukaisesti vaihteissa on kiskon alla ja vaihdealuslevyn päällä vielä välilevy, jonka tehtävä on lisätä kiskonkiinnityksen läpivetovastusta ja joustavuutta sekä jakaa kiskon lepoppinnalle ja aluslevylle kohdistuvia voimia. (Liikennevirasto 2002)

Nostoissa tulee varmistua, että kiskonkiinnityksen kunto ei heikkene työn yhteydessä, sillä kunnon heikentyminen lisää kiskon siirtymiä junien kuormittaessa sitä. Tästä syystä nostojen aikana tulisi välttää nostoapuvälineiden ja kiskonkiinnitysten välistä kontaktia. Kiinnityksessä jäykkyyden pienentymisen seurauksena kiskon pystysuuntaiset siirtymät saattavat kasvaa jopa 60–70 %, minkä lisäksi myös kiskon kiihtyvyydet lisääntyvät merkittävästi. Lisäksi pystysuuntainen liike saattaa myöhemmin aiheuttaa rasitustiloja, jotka voivat aiheuttaa koko kiinnityksen irtoamisen. (Nurmikolu et al. 2013)

3.2 Vaihteiden elementit ja niiden ominaisuudet

Vaihte voidaan siis jakaa kolmeen elementtiin: kielisovitus-, välikisko- ja risteyslementtiin. Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin näiden vaihteen eri elementtien ominaisuuksia ja selvitetään niiden rakenteiden ja komponenttien erikoispiirteitä, joita nostoissa tulee ottaa huomioon. Vaihteiden elementtien mittatiedot ovat jo etukäteen tiedossa ja niitä tarvitaan jatkossa vaihteen käsittelymenetelmien selvittämisessä. Mitat ovat koottu oheiseen taulukkoon 6.

Taulukko 6. *Vaihteiden ja niiden eri elementtien mitat. (Pollari 2015)*

Vaihde	Elementti	Pituus [m]	Suurin leveys [m]	Korkeus [m]	Massa [kg]
YV60-300-1:9 betonipölkyin	kielisovitus	13,9	4,1	0,5	15 000
	väliskisko	12,6	4	0,5	15 000
	risteys	8	4,8	0,5	11 500
YV60-500-1:11,1 betonipölkyin	kielisovitus	17,6	4,1	0,5	19 300
	väliskisko	15,6	3,7	0,5	17 000
	risteys	11,8	4,6	0,5	17 500
YV60-300-1:14 betonipölkyin	kielisovitus	17,6	4,1	0,5	19 300
	väliskisko	15,6	3,7	0,5	17 000
	risteys	11,8	4,6	0,5	16 800
YV60-900-1:18 betonipölkyin	kielisovitus	21,1	4,1	0,5	22 000
	väliskisko	26	3,8	0,5	27 000
	risteys	12,6	4,5	0,5	19 900
YV54-200N-1:9 betonipölkyin	kielisovitus	11,1	4,1	0,5	11 200
	väliskisko	10,6	3,8	0,5	11 400
	risteys	6,6	4,5	0,5	9 800

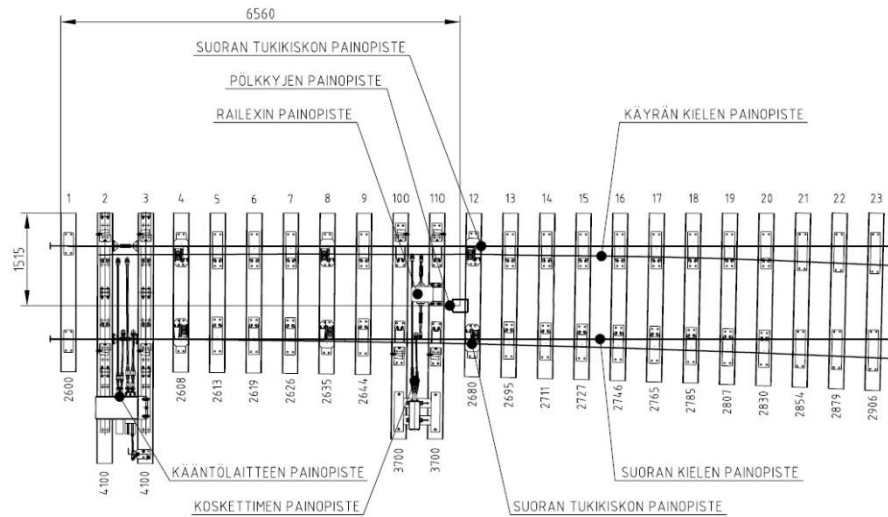
Eri elementtien tietojen lisäksi tätä tutkimusta varten on kerätty vaihteiden komponenttien massatietoja. Näitä tietoja on saatu kirjallisuuslähteistä, vaihdehalleille tehtyjen vierailujen yhteydessä tiedustelemalla ja itse mittaamalla. Komponenttien massatietoja tarvitaan elementtien painopisteiden määrittämiseen. Komponenttien massat on kerätty taulukkoon 7.

Taulukko 7. *Eri komponenttien massatiedot.*

Osa		Massa (kg)
Kääntölaite	Siemens	200
Lukitsin	Railex	56
Kosketin	ELP316	31
Kielisovitus	YV60-300-1:9 aluslevyillä	2200
	YV60-900-1:18 aluslevyillä	3400
Risteys	YV60-300-1:9 aluslevyillä	1710
	YV60-900-1:18 ilman aluslevyjä	2300
Kiskonkiinnitys	Sk112	0,55
	Pultti	0,35
	M22 mutteri	0,15
	ULS6 aluslaatta	0,01
Kiskonkiinnitys	K-kiinnike	0,9
	Mutteri	0,15
	Pultti	0,35
Käyttötanko	Pitkä D3917 L=2068/2160	26
	Pitkä D4247/1 (1:18)	30
	Lyhyt D3916 L=828/920	17
Tarkistustanko	Pitkä KV-vaihde	11
	Pitkä D4692	10
	Lyhyt D3925 L=835/905	7
Aluslaatta	Kallistettu + muovi	8,85
	672 mm, kahdella kiskonkiinnityksellä	19
	Asetinpölkyn pitkä aluslevy	20
	Vastakisko 60E	28
	Vastakisko 54E	17

3.2.1 Kielisovituselementti

Kielikiskot ja tukikisko muodostavat rakenteen, jota kutsutaan kielisovitukseksi. Tämän rakenteen mukaan elementti on myös nimetty. Vaihteen kielikiskojen kärjet ovat vaihteen kriittisin kohta. Kielen kärki muotoillaan loivasti kiilamaiseksi, jolloin sen korkeus saadaan pienimmilleen kärjen kohdalle. (Nummelin 1994) Toinen kieli on aina tukikiskoa vasten, joten kiskojen välisellä korkeuserolla on suuri merkitys. Korkeuseron tulee olla sellainen, että kieli kantaa pyöräkuormia vasta, kun selän leveys on 25 millimetriä. Kielen ollessa auki, pitkät vaihteet suunnitellaan niin, että väli kielen kärjessä on pitkisä vaihteissa 143 millimetriä ja lyhyissä vaihteissa 170 millimetriä. (Nummelin 1994) Kielien liittyessä tukikiskoon tulee välin osien välillä olla enimmillään 2–4 millimetriä. Tällöin pyörä pystyy turvallisesti ylittämään kielen kärjen, mutta väliä voidaan hyödyntää esimerkiksi lumitilana. Kielisovituselementin käsittelyn jälkeen tulee varmistua, että se toimii vaatimusten mukaisesti. Oheisessa kuvassa 17 on typpikuva ja mitat yhdestä tutkittavaksi valitusta vaihteesta (YV60-300-1:9-O). (Liikennevirasto 2012)



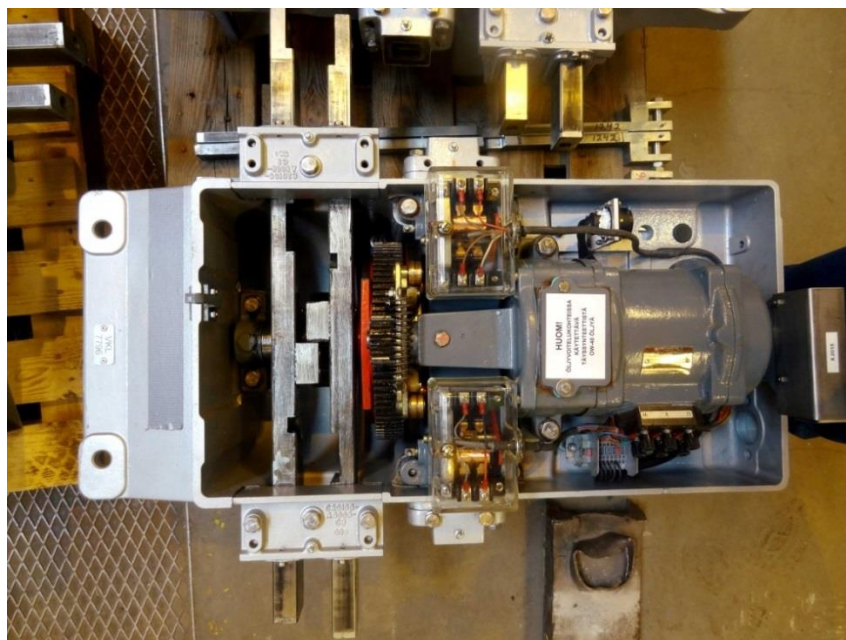
Kuva 17. Vaihteen YV60-300-1:9-O kielisovituselementin typpikuva (Pollari 2015).

Kielisovituksessa tukikiskon sisäpuoli on kalteva, jotta kärki voidaan tehdä paksumaksi. Näin ollen tukikiskon koneistuksen takia sen kiskopaino ei ole normaali noin 60 kg/m, vaan todellisuudessa pienempi. Tässä tutkimuksessa kuitenkin kielikiskon tukikiskon painona käytetään samaa kiskopainoa kuin vaihteen muissakin kiskoissa lukuun ottamatta kielikiskoa. (Liikennevirasto 2012) Tällöin elementin näihin kohtiin kohdistuu enemmän taivutusta kuin todellisuudessa. Jos näin saadaan taivutusmomentti pysymään sallituissa rajoissa, ei todellisuudessakaan taivutusmomentti pääse nousemaan määritettyä suuremmaksi.

Kielisovituselementissä ovat myös komponentit, joilla luodaan junalle kulku poikkeavalle raiteelle. Tämä tapahtuu kielikiskoja kääntämällä. Laitetta, jolla tämä kääntäminen

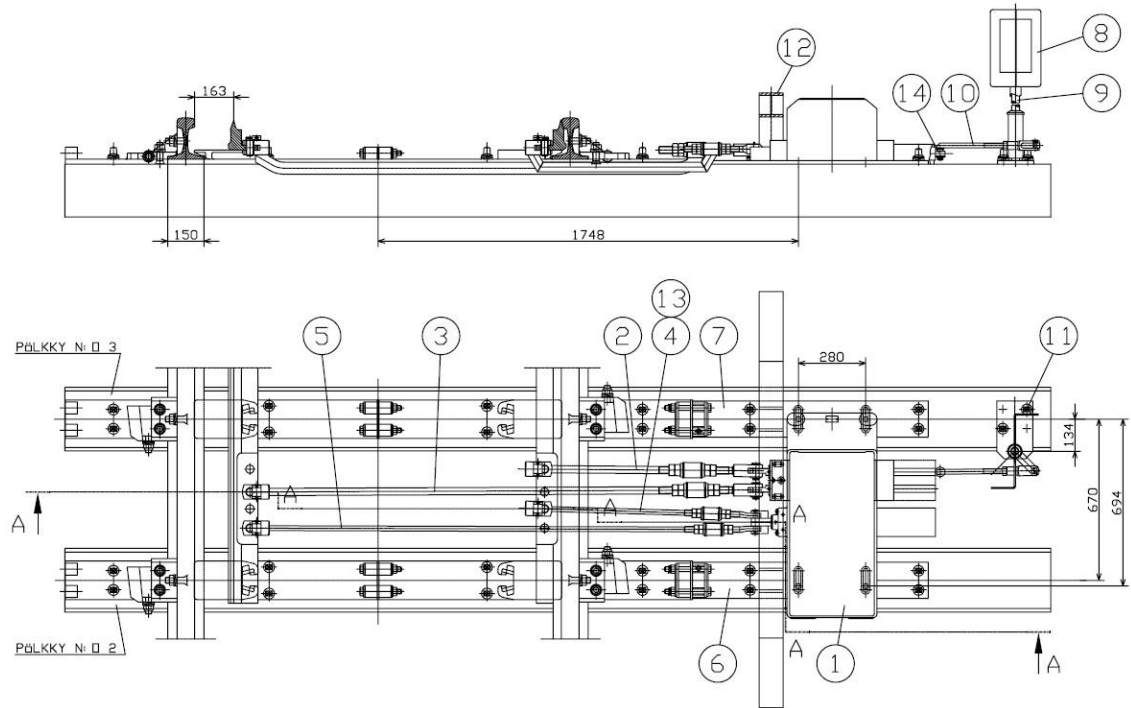
mahdollistetaan, kutsutaan vaihteenkääntölaitteeksi. Kääntölaitteet voivat olla joko käsiikäyttöisiä, mekaanisia, sähkömekaanisia tai sähköhydraulisia. Vaihteenkääntölaitteiden valinta ja eri komponenttien sijoittelu sekä määrä vaikuttavat osaltaan myös kielisovituselementin painopisteen sijaintiin ja näin oleellisesti koko nostotyön suorittamiseen. Vaihteenkääntölaite varustellaan kahdella käyttötangolla ja kahdella tarkistustangolla. Käyttötankoja ja tarkistustankoja on vaihteessa sekä lyhyitä että pitkiä. Kääntölaitetta lähempänä olevaan kielikiskoon kytketään lyhyet tangot ja kauempana olevaan pitkät tangot. Käyttötangoilla liikutetaan kieliä ja niiden liikkeen tulee olla käytössä tasaista. Käyttötankojen toinen pää tulee kiinni kieleen ja toinen pää kääntölaitteeseen. Tarkistustangoilla taas valvotaan kielien asentoa. Ne ovat samalla tavalla toisesta päästä kiinni vaihteen kielissä, mutta toisesta päästä ne ovat kiinni kosketinlaitteessa kääntölaitteen sisällä ja antavat näin asetinlaitteelle tietoa kielien asennosta. Lyhyissä vaihteissa on yleensä yksi kääntölaite, mutta pitkissä vaihteissa kieliä joudutaan kääntämään useasta pisteestä yhtäaikaaisesti. Tällöin kääntölaitteita tarvitaan useampia, jolloin noston aikana on vaarana useamman laitteen vaurioituminen. (Liikennevirasto 2012)

Noston aikana elementin kielikiskojen kärkien pään taipuessa voi olla mahdollista, että kielikiskot pääsevät nousemaan aluslevyiltä, sillä ne eivät ole liikkumisen mahdollistamiseksi kiinni aluslevyissä. Kielien noustessa ylös aluslevyjen päältä ne nostavat tankoja mukanaan ja tällöin tangot saattavat vaurioitua. Tankojen liikkuesssa epätoivotulla tavalla myös kääntölaite saattaa vaurioitua, jos käyttötangot ja tarkistustangot aiheuttavat taivutusta kääntölaitteen sisällä. Vaihteenkääntölaitteessa liikuntavarat ovat millimetrien luokkaa, joten pystysuuntaista tai pituussuuntaista liikettä ei sallita juuri lainkaan. (Pulliainen 2015) Kuvassa 18 on kuva Siemensin vaihteenkääntölaitteesta.



Kuva 18. Siemensin vaihteenkääntölaite.

Käyttötangot tulevat kiinni kuvassa 18 näkyviin kääntölaitteen sisällä oleviin tankoihin ja tällöin kaikki rasitukset välittyvät suoraan kääntölaitteeseen. Vaihtenkääntölaitteet tilataan siten, että samaa kääntölaitetta pystytään käyttämään sekä oikeakätisissä että vasenkätisissä vaihteissa, joten tilanne on aina sama vaihteen kätisyydestä riippumatta. (Pulliainen 2015) Kuvassa 19 on betonipölkkyisen vaihteen YV60-300-1:9-0 tyyppikuva sähkökääntölaitteen sovituksesta, mistä voidaan havaita tankojen sijainnit vaihteessa.



Kuva 19. Betonipölkkyisen vaihteen YV60-300-1:9 sähkökääntölaitesovitus (Ratahallintokeskus 2005).

Kuvassa 19 symbolilla A on merkitty kuvassa 18 oleva kääntölaite. Numeroilla 2 ja 3 on merkattu käyttötangot sekä numeroilla 4 ja 5 tarkistustangot. Sähkökääntölaitteen poikkileikkauks kuvasta nähdään, että tangot ovat asetettu kulkemaan kääntölaitteen puoleisen tukikiskon alta. Koska kielikiskojen kärjet painavat huomattavasti vähemmän kuin tukikiskot, kielikiskoihin nostossa kohdistuva taivutusmomentti ei aiheuta niihin yhtä suurta taipumaa.

Kappaleessa 3.1.1 todettiin, että kiskon myötö on rajoittavin tekijä vaihde-elementtien nostoissa. Kuitenkin kielisovituselementissä kielien kärkien puoleisessa päässä nostoja ei rajoita kiskojen myötölujuus, vaan rajoittavana tekijänä on kieliin ja kääntölaitteisiin kohdistuvat rasitukset, aiemmin esiteltyn ongelmien johdosta. (Pulliainen 2015) Myös nykyinen ohjeistus (Liikennevirasto 2007) määrää, että tangot eivät saa osua tukikiskoon elementtiä nostettaessa. Kielisovituselementtien nostot tullaankin suunnittelemaan siten, että kielet pysyisivät kiinni niin lähellä aluslevyjä kuin mahdollista koko noston ajan. Tällä tavalla koko kielisovituselementin kielikiskojen kärkien puoleinen pää taipuu tasaisesti. (Pulliainen 2015) Nosto on tärkeää tehdä myös siten, että elementti on

koko ajan vaakasuorassa asennossa. Jos näin ei toimita, pitkät asetinpölkkyt aiheuttavat tankoihin kiskonsuuntaista liikettä ja kääntölaitteeseen kohdistuu vääntöä.

Kielikiskojen asennolle, eli kumpaa tukikiskoa vastaan toisen kielikiskon tulisi olla, ei ole annettu voimassa olevissa ohjeistuksissa mitään ohjetta. Työmaalla tehtyjen havaintojen ja haastattelujen mukaan lähempänä kääntölaitetta olevan kielikiskon ollessa kiinni tukikiskossa kääntölaitteen sisällä olevat sisäiset tangot ovat mahdollisimman vähän ulkona laitteen sisäältä. Tällöin lyhyt käyttötanko ja lyhyt tarkistustanko eivät pääse liikumaan, sillä ne ovat kiinni kielikiskossa, joka taipuu tukikiskon mukana. Samanaikaisesti toinen kielikisko pääsee taipumaan ja taivuttaa mukanaan pidempiä tankoja, joihin kohdistuu pidemmän momenttivarren myötä suurempi taivutusmomentti. Tällöin kääntölaitteen sisälle ei kohdistu niin suurta taivutusta. Kääntölaitteesta katsottuna kauempana olevan kielikiskon ollessa kiinni tukikiskossa ei pidempiin tankoihin synny yhtä suurta taivutusmomenttia kuin edellisessä tilanteessa. Tällöin kääntölaitteen sisällä olevat tangot ovat ulkona laitteesta ja laitteen sisälle kohdistuu suurempi taivutusmomentti kuin edellisessä tilanteessa.

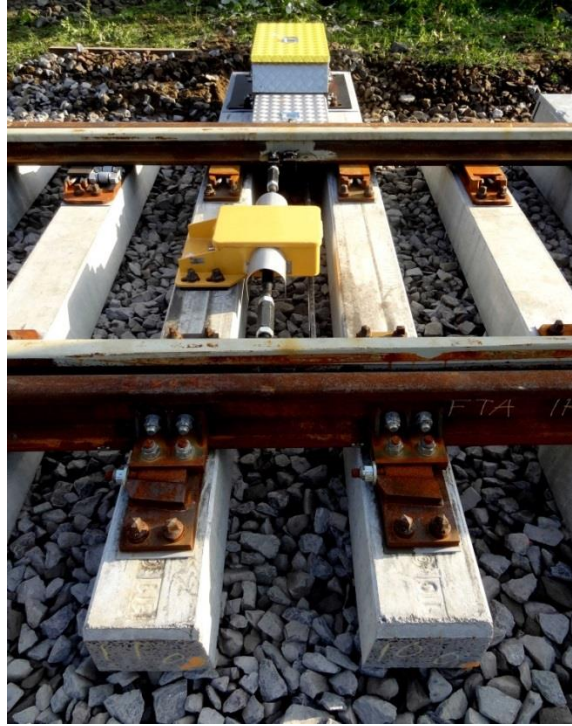
Tilannetta tulisi tutkia tarkemmin, jotta saataisiin selville, kummassa tilanteessa komponentteihin kohdistuu mahdollisimman vähän rasitusta. Kielien asennon kannalta optimaalisin tilanne olisi silloin, kun molemmat kielet olisivat kiinni tukikiskoissa. Vaihteissa on kuitenkin valmiiksi asennettuna kaikki vaihteen kääntöön tarvittavat komponentit, joten tällainen tilanne ei ole mahdollinen.

Kaiken kaikkiaan vähiten rasitusta kääntölaitteisiin kohdistuu silloin, kun nosto tehdään pölkkyvälistä, joka on mahdollisimman lähellä kääntölaitetta. Kielisovituselementissä nostopisteiden suunnittelu tulee tehdä niin, että elementin toiseen päähän voi kohdistua suurempi taivutus, jos tällä tavalla saadaan kielikiskojen kärkien puoleisessa päässä nostopisteet lähemmäksi kääntölaitteita. Rajoituksena tässäkin on kuitenkin kiskojen myötö. (Pulliainen 2015)

Kielisovituselementistä löytyvät myös vaihteenlukot. Lukkojen pitää pystyä pitämään kielet pääteasemassa myös nostoissa syntyvien kuormituksien alla. Käytössä olevia tyyppisiä ovat sähkökääntöinen sisäänrakennettu lukko, kiilalukko, nivellukko ja hakalukko. Nostojen aikana myöskään vaihteenlukot eivät saa liikkua. Lukot ovat säädetty tarkkaan siten, että kielen ja tukikiskon välinen etäisyys ei pääse kasvamaan liian suureksi. Pahimmillaan vaurioituneet vaihteenlukot voivat aiheuttaa junan suistumisen. Vaihdetyypistä riippuen vaihteenlukkoja voi olla yksi tai useampia. (Liikennevirasto 2012)

Vaihteen lukitsin on käytössä vaihteissa, joissa kielten kanta-alueella ja välialueella kielten liittyminen tukikiskoon halutaan varmistaa riittävällä tarkkuudella. Yksi yleisimpiä rataverkolla käytettyjä vaihteen lukitsimia on suomalainen Railex. Railexista käytetään myös nimeä kääntöavustin. Kaikissa tutkittavissa 60E1-vaihteissa on käytös-

sä lukitsimet, jotka pakottavat jousimekanisminsa avulla kielet pääteasemaan. Lukitsimien avulla yhdessä vaihteenkoskettimen kanssa korvataan yleensä kielisovituksen kan-
taosan vaihteenkääntölaite. Kuvassa 20 on yleisessä käytössä oleva Railex-lukitsin rai-
teen keskellä. (Liikennevirasto 2012)



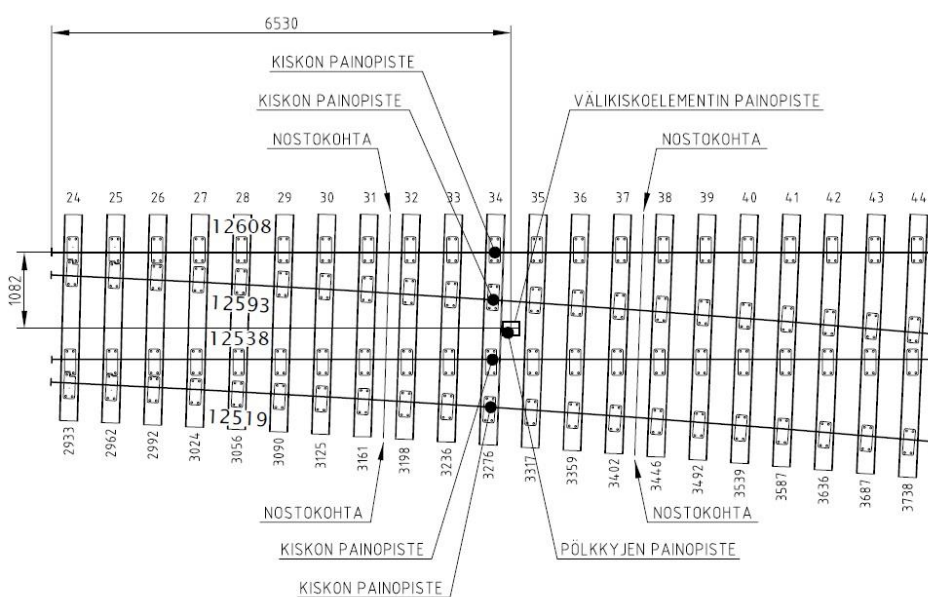
Kuva 20. Railex-lukitsin ja vaihteenkosketin.

Lukitsin on mekaaninen laite, jonka toimintaa valvotaan vaihteenkoskettimen avulla. Koskettimessa on tarkistustangot, joiden avulla kielien sijaintia voidaan valvoa. Käytännössä lukitsimen kanssa tapahtuu nostoissa sama ongelma kuin kääntölaitteiden kanssa. Elementin taipuessa myös lukitsimen valvonnassa käytettävät tarkistustangot taipuvat, jos kielet nousevat aluslevyjen päältä ilmaan. Ongelma ei kuitenkaan ole lukitsimen kohdalla niin merkittävä kuin kääntölaitteen kohdalla, sillä kielien kärjessä kisko on koneistetun muotonsa vuoksi poikkileikkauspinta-alaltaan huomattavasti pienempi ja painaa vähemmän kuin lukitsimen kohdalla oleva kisko, joten se nousee herkemmin ilmaan. (Pulliainen 2015)

Tehtyjen havaintojen, haastatteluiden ja selvityksien perusteella voidaan kielisovitus-
elementin nostamista pitää haastavimpana vaiheena koko vaihteen nostotyössä. Huo-
limattomalla ja väärällä toimintatavalla sen rakenne voi vaurioitua, jolloin koko vaih-
teen toiminta voi estyä. Lisäksi kielisovituselementissä pölkköjen päällä saattaa olla
vaihteen varusteita juuri optimaalisimpien nostokohtien kohdalla, joten varsinkin nosto-
pisteitä suunniteltaessa, mutta myös nostoapuvälineitä valittaessa ja kiinnitettäessä, tu-
lee huolehtia, että nämä varusteet eivät vaurioidu. (Liikennevirasto 2007)

3.2.2 Välikiskoelementti

Välikiskoelementissä olevat teräskomponentit ovat pääasiassa kiskoja eli välikiskoja sekä kiskonkiinnityksen osia. Tämän elementin käyttöikä onkin yleensä suurempi kuin muiden ja elementin kunnon tason arvioimisessa noudatetaan normaalia vakiokiskon arviointia. (Liikennevirasto 2013b) Elementin rakenteessa ei ole liikkuvia osia vaan ratakiskojen kuluneisuusmittauksen avulla saadaan tarpeen vaatiessa selville elementin elinkaaren vaihe. Mittaus tehdään yleensä siinä vaiheessa, kun muissa mittauksissa tai katselmuksissa on tehty epäilyjä kiskojen kuluneisuudesta. (Liikennevirasto 2004) Tämän elementin kiskoja voidaan myös siirtää osuudelta toiselle, jolloin sen elinkaarta voidaan pidentää. Kuvassa 21 on esitelty yhden tutkittavan vaihteen välikiskoelementin tyyppikuva.

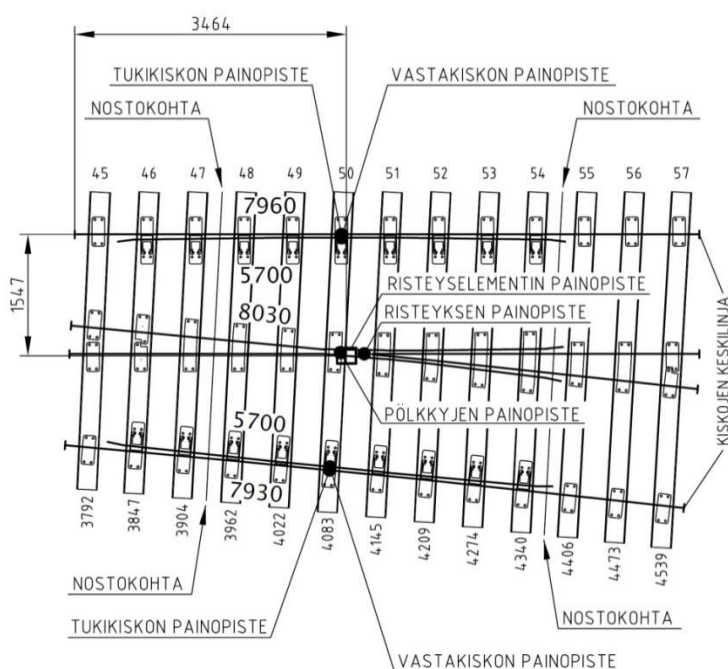


Kuva 21. Vaihteen YV60-300-1:9-O välikiskoelementin tyyppikuva (Pollari 2015).

Pisimmissä vaihteissa saattaa olla jopa kaksi välikiskoelementtiä. Tehtyjen havaintojen perusteella välikiskoelementtien käsittelyssä ei tarvitse ottaa huomioon mitään erityistä, toisin kuin kielisovituselementissä. Välikiskoelementit ovat yleensä suunnilleen yhtä pitkiä kuin kielisovituselementit, kuten taulukosta 6 voidaan havaita. Niiden nostopisteiden määrittämisessä tulee ottaa huomioon vain kiskon plastiset muodonmuutokset eli kiskot eivät saa myötää. (Nummelin 1994)

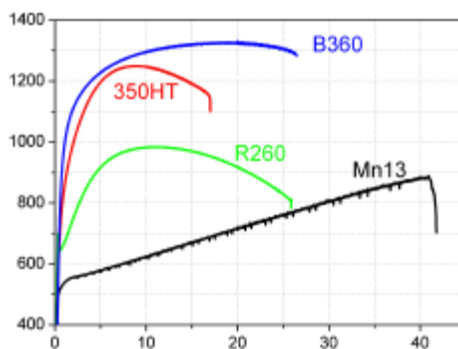
3.2.3 Risteyselementti

Kielisovituselementissä kielten kärjet ovat vaihteen kriittisin kohta, mutta vaihteen risteyksen kärki on koko vaihteen kuluvin osa. (Nummelin 1994) Vaihteen kaikista teräsosista risteyselementissä ovat risteys ja vastakiskosovitus. Vaihteen risteyskärkiä on valmistettu vaihteisiin kolmella eri tavalla. Niitä on tehty teräksestä pulttiliitoksella, erikoiskiskosta lisäämällä siihen mangaanikärki sekä valamalla risteys täysin erillisenä mangaaniteräksestä. (Zwaneburg 2009) Teräsristeykset kuluvat ja muuttavat muotoaan, joten liikenteen vaikutusta risteyksen kuntoon tulee tarkkailla. (Liikennevirasto 2013b) Risteykset jaetaan myös kiinteisiin yksikärkisiin ja kaksikärkisiin risteyksiin sekä kääntyväkärkiseen risteykseen, joka on yksikärkinen. Yksikärkisiä risteyksiä on kaikissa vaihdetyypeissä. (Liikennevirasto 2012) Kuvassa 22 on tyyppikuva risteyselementistä.



Kuva 22. Vaihteen YV60-300-1:9 risteyselementti (Pollari 2015).

Osassa 54E1-vaihteissa risteysosan kärki on taottu ja siihen lisätty jatkekiskot. Siipikiskon hamaraan on taottu ylikorotus, jolloin se kantaa pyöräkuormat risteyksen kärjen yli. 60E1-vaihteissa käytetään yleensä aina mangaaniteräksestä valmistettua risteystä, mutta niitä käytetään myös osassa 54E1-vaihteissa. (Liikennevirasto 2012) Mangaaniteräs kestää vähemmän vetoa kuin R260 ja R350HT -kiskot. Toisaalta mangaaniteräs taas vastaavasti pitenee huomattavasti enemmän kuin vastaavat kiskoteräksiset ennen kuin repeää. Oheisesta kuvasta 23 voidaan havaita, että mangaaniteräksen vetolujuus kasvaa kauemmin kuin muiden kiskoteräslaatujen, mutta sen vetolujuuden arvot ovat pienemmät. (Innotrack 2006)

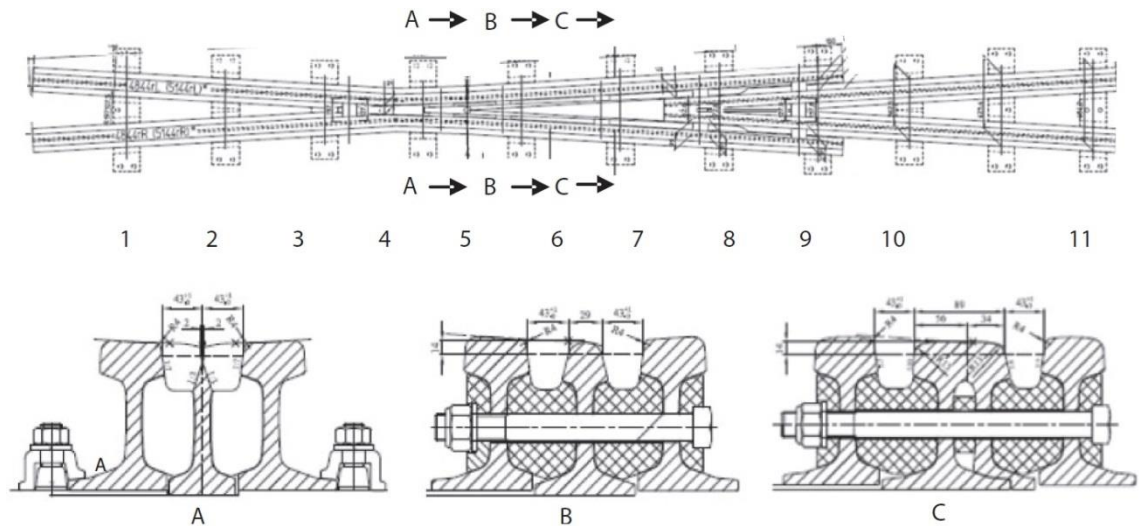


Kuva 23. Mangaaniteräksen vetolujuus (Mn13). B360, 350HT ja R260 ovat eri kiskotyypin vetojäykkyyksiä (Innotrack 2006).

Tässä tutkimuksessa risteyslementtiä tutkitaan mangaaniteräsristeysillä varustettuina, sillä sen lujuusominaisuudet ovat nostohetkellä heikommät kuin kiskoteräksillä varustettuina. Tällä tavalla mangaaniteräksellä varustetuille elementeille määritettyjä nostopisteitä voidaan käyttää myös kiskosta valmistetuissa risteyslementeissä.

Mangaaniteräksen käyttö risteyksessä perustuu siihen, että huoneenlämmössä metastabiili austeniittinen mikrorakenne risteuksen pinnassa muuttuu junankulun aiheuttavan iskumaisen kuormituksen ja muokkautumisen seurauksena martensiitiksi. (Viitala 2015) Mangaaniteräksen mekaanisiin ominaisuuksiin kuuluu myös muokkauslujittuminen, joten siitä tehdyt kärjet lujittuvat entisestään pyörien osuessa risteuksen kärkeen niiden valmistuksen jälkeen. Lujittuminen tapahtuu liikennemäärän mukaan, mutta vilkkailla pääradoilla yleensä 2–3 viikossa. Risteuksen mangaaniteräksen kovuus saattaa jopa kaksinkertaistua lujittuessaan. Mangaaniteräksen kovuus on valun jälkeen 250 HB ja muokkauslujittuneena jopa 400 HB. Alun pienempi kovuusarvo kuitenkin tarkoittaa sitä, että mangaaniteräksen myötöraja on ennen lujittumista pienempi. (Liikennevirasto 1998) Tällöin nostojen aikana tulee varmistua rakenteen säilymisestä ehjänä. Mangaaniteräksen myötöraja on 345–414 MPa riippuen siitä missä vaiheessa teräksen lujittuminen on. (Peters 2005) Myötöraja on siis lähes 100 MPa alhaisempi kuin kiskolla. Mangaaniteräskärkien heikkous on lisäksi se, että niiden kärkeen syntyy murtumia, joita ei pystytä korjaamaan vaan koko kärki täytyy vaihtaa kerralla, joten kärjen tulee säilyä täysin ehjänä koko käsittelyn ajan. (Zwaneburg 2009) Lisäksi mangaaniteräskärkeä ei voida hitsata suoraan kiskoteräkseen, vaan väliin asennetaan jatkekisko. Lisäksi jatkekiskon ja mangaaniteräskärjen välissä käytetään vielä bufferikerrosta. (Liikennevirasto 1998)

Vaikka mangaaniteräksen myötöraja on pienempi kuin 60E1-kiskoteräksen risteysosan poikkileikkaus on huomattavasti kiskoa suurempi, jolloin sen kokonaisjäykkyys kasvaa. Tällöin nostojen suunnittelun yhteydessä tulee tutkia kumpi komponenteista rajoittaa nostoa. Eli kumpaan komponenttiin syntyy herkemmin pysyviä muodonmuutoksia. Kuvasssa 24 on poikkileikkauksia eri risteysten kohdissa.



Kuva 24. Risteyksen poikkileikkaus eri kohdissa 54E1-kiskolaadun vaihteessa (Wan et al. 2014).

Kuvasta 24 nähdään, että risteyksen pinta-ala vaihtelee eri kohdissa huomattavasti. Näin ollen myös risteyksen jäyhyysmomentti I_x on erisuuruinen eri kohdissa. Taulukossa 8 on jäyhyysmomentin arvoja risteyksessä käytettäessä vaihteessa kiskoa 54E1. Jäyhyysmomenttien pisteet eri kohdissa risteystä on havaittavissa kuvasta 24.

Taulukko 8. Jäyhyysmomentin arvot eri kohdissa risteystä (Wan et al. 2014).

Piste	Risteyksen alue										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jäyhyysmomentti [mm^4]	2346	2346	4677	4206	5919	7106	9227	8269	7461	2346	2346
Risteyksen ja kiskon neliömomenttien suhde	1,0	1,0	2,0	1,8	2,5	3,0	3,9	3,5	3,2	1,0	1,0

Taulukosta 8 havaitaan, että risteyksen jäyhyysmomentti on lähes kaksinkertainen tavalliseen kiskoon verrattuna ja vähintään 1,8-kertainen. Vaikka oheinen vertailu on tehty 54E1-kiskolaadun risteyksessä, voidaan tässäkin tutkimuksessa olettaa, että myös 60E1-kiskolaadun vaihteissa neliömomentti on risteyksen kohdalla vähintään 1,8-kertainen kiskoon verrattuna.

Risteyselementtien nostoissa tuleekin ottaa huomioon, että mangaaniteräksestä tehdyn risteysosan myötölujuus on pienempi kuin kiskoteräksen. Risteys on kuitenkin rakenteena jäykempi kuin kisko, sillä sen poikkileikkauksen mitat ovat suuremmat. (Wan et al. 2014) Nostopisteiden suunnittelussa tuleekin verrata sekä kiskon että risteyksen sallittuja taivutusmomenteja myötörajaan ja mitoittaa nostopisteet tämän mukaan. Lisäksi pitemmissä vaihteissa käytettäessä kääntyväkärkistä risteystä nostoihin tulee näistä osista lisää huomioon otettavia asioita. Kääntyväkärkistä risteystä ei kuitenkaan ole tässä tutkimuksessa tutkittavissa vaihteissa. Nykyinen ohjeistus (Ratahallintokeskus 1999)

myös määrää, että kääntyväkärkinen risteys asennetaan erikseen vaihteeseen, jolloin välttyään siihen kohdistuvilta epäsuotuisilta rasituksilta.

3.3 Vaihteiden elinkaari ja kierrätys

Vaihteiden elinkaarta ja sen optimointia on tutkittu paljon. Vaihteisiin kohdistuvia investointeja pystytään merkittävästi pienentämään elinkaaritehokkuudella. Elinkaari on teoreettinen konsepti, minkä avulla voidaan tarkastella tuotteen käytöstä aiheutuvia kustannuksia valmistuksesta aina loppuhävitykseen asti. Jokainen tuote, myös vaihde voidaan nähdä olevan jossain elinkaaren vaiheessa: esittely-, kasvu-, kypsyys- tai laskuvaiheessa. (Elo et al. 2013)

Vaihteen saavuttaessa vaiheen missä sitä ei enää kannata kunnossapitää se vaihdetaan uuteen. Tällöin vanha vaihde poistetaan radasta ja viedään takaisin vaihdehallille. Siellä se pyritään kunnostamaan mahdollisimman pienin kustannuksin, jotta se saadaan palvelemaan vielä muualla rataverkolla. Vanhan vaihteen kunnostuksen kustannus oli vuonna 2004 keskimäärin 15 000 € vaihdetta kohden. Uuden vaihteen hinta taas vastaavasti oli vuonna 2014 kappaleen 2.5.3 mukaisesti 80 000 €. Vuonna 2004 uuden vaihteen hinta oli vastaavasti 55 000 €. Näitä lukuja vertaamalla voidaan pitää vanhan vaihteen kunnostusta ja kierrättämistä erittäin kannattavana. (Tuominen 2004) Vaihteen kunnostuksen jälkeen se voidaan siis viedä uuteen paikkaan, jolloin sen elinkaari pitenee ja elinkaarikustannukset pienenevät.

Suomessa onkin tavanomaista, että pääraiteille hankitaan uudet vaihteet kuluneiden tilalle ja vanhat pääraiteen vaihteet siirretään sivuraiteille elinkaarensa loppuvaiheessa. (Nummelin 2004) Kierrätysvaihteiden määrissä on suuria eroja alueellisesti, esimerkiksi kunnossapitoalueella 5 (Haapamäen tähti) kierrätettyjä vaihteita on 81,8 % kaikista vaihteista. Vastaava luku kunnossapitoalueella 1 eli Uudellamaalla on vain 17,7 %. (Liikennevirasto 2014) Tavallisesti vaihteita ei siirretä suoraan, vaan ne toimitetaan ensin kunnostettavaksi. Vaihteen saa siirtää toiseen paikkaan suoraan vain Liikenneviraston luvalla. Toisaalta vaihteen vaihtamista tulee aina arvioida tilanteissa, joissa vaihteen alle tehdään esimerkiksi tukikerroksen vaihtoa. Varsinkin, jos vaihteessa on huonokuntoisia pölkkyjä tai vaihteen elementin vaihtotarve tulisi ajankohtaiseksi seuraavan viiden vuoden aikana, voi vaihteen kunnostaminen tai vaihtaminen olla samalla kertaa järkevää ja tilanteet tulee arvioida huolella. Kunnossapitäjä ylläpitää vaihteiden uusi- missuunnitelmaa, jonka avulla pyritään ennustamaan vaihteiden tuleva vaihtotarve sekä arvioidaan kuinka paljon materiaaleja vapautuu vaihteista seuraavan viiden vuoden aikana. (Liikennevirasto 2013b) Vaihteen vaihdon kokonaiskustannuksista muodostuu yleensä yli puolet pelkästään vaihteen vaihtotyöstä aiheutuvista kustannuksista. Tästä syystä vaihteen elinkaari tehokkaan käytön varmistamiseksi on erittäin tärkeää suunnitella tarkoin, koska vaihde kannattaa uusia. Lisäksi samasta syystä aina, jos vaihde joudutaan muun työn takia nostamaan rakenteesta irti, tulee varmistua sen elinkaaren vaihe.

Sivuraiteille voidaan vaihtaa myös täysin uusia vaihteita. Kaikkia vaihteita ei aina ole kierrätetty. Tämä on kuitenkin kallista ja joissain tilanteissa tarpeetonta. Lisäksi vaihdetta ei välttämättä tarvitse vaihtaa kokonaan vaan voidaan vain uudistaa kuluneimmat komponentit. Vaihteiden kierrätys eli uudelleen käyttö sivuraiteilla on kuitenkin yleensä kaikkein elinkaaritehokkain vaihtoehto. Ennen pääraiteen vaihteen poistamista radasta olisi järkevintä selvittää etukäteen uusi mahdollinen sijoituspaikka. Tällä tavalla vaihteen välivarastointia voidaan vähentää. (Nummelin 2004) Lisäksi nykyisen ohjeistuksen mukaan vanhoja vaihteita tulee käsitellä kuin uusia, jos niiden tulevaa käyttöä ei tiedetä. (Ratahallintokeskus 1999) Työmaan aikatauluun pyritään kiinnittämään entistä suurempaa huomiota, jotta muulle liikenteelle ei aiheutuisi häiriötä. Tästä syystä, työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella, olisi erittäin hyödyllistä, että työmaalla tiedettäisiin etukäteen varsinkin siitä, jos vaihdetta ei kierrätetä vaan se romutetaan. Tällöin vanhan vaihteen poistamiseen ei tarvitse käyttää liikaa aikaa tai turhaa varovaisuutta.

Vaihteen kunnostus paikassa, jossa on suuret liikennöintimäärät ovat Suomen pääasiassa yksiraiteisilla rataosilla erittäin kallista. Erityisen kallista vaihteen kunnostus on silloin, jos työ kestää pitempään. Lisäksi useilla rataosuksilla kapasiteetti on täynnä. Vaihteen elinkaaren tullessa pisteeseen, jossa pitää tehdä päätös pitääkö kyseiseen radan kohtaan vaihtaa kokonaan uusi vaihde vai kunnostetaanko vanha, on vaikeaa. Päätökseen vaikuttavat yleensä sekä tekniset että taloudelliset seikat ja päätös vaatiikin hyvää tietämystä sekä vaihteen tekniikasta, sen kustannuksista että työstä aiheutuvista kustannuksista. Tärkeää on ottaa huomioon tietyn vaihteen koko elinkaari ja mahdollista onkin, että on huomattavasti elinkaaritehokkaampaa siirtää vaihde uuteen paikkaan ja korvata se täysin uudella kuin alkaa korjaamaan vanhaa vaihdetta. (Nummelin 2004)

4. NOSTOKALUSTOT

Vaihdetyömaalla tarvitaan monenlaista kalustoa, mutta tässä tutkimuksessa pitäydytään kokonaan nostojen mahdollistavan kaluston tutkimisessa. Vaihde-elementtien vaihtoon käytettävän nostokaluston tulee taata turvalliset olosuhteet niin työntekijöille kuin itse vaihde-elementille. Tässä luvussa käydään läpi mitä kaikkia asioita oikean nostolaitteen valinnassa tulee ottaa huomioon. Tutkimus pidetään mahdollisimman yleisenä ja tarkoituksena on etsiä merkittävimmät huomioon otettavat asiat. Tässä tutkimuksessa ei siis ole tarkoitus etsiä kaikkia mahdollisia laitteita mitä työssä voidaan käyttää. Tutkimuksessa kuitenkin esitellään tällä hetkellä yleisesti käytössä olevat nostolaitteet.

4.1 Työkoneiden käyttö vaihdetyömaalla

Perinteisesti kaikkia radanpidon töitä on tehty kalustolla, joka liikkuu radalla. Lisäksi kalusto on suunniteltu yleensä aina tiettyä työvaihetta varten. (Liikennevirasto 2011a) Radanpidon avaaminen kilpailulle olikin aluksi haastavaa, sillä urakoitsijoilta vaadittiin suurehkoja kalustohankintoja. Kilpailun avaamisen jälkeen Liikennevirasto on monipuolistanut markkinoita ja teettänyt pienempiä ylläpitotehtäviä hankintakokonaisuuksina, joka on avannut markkinoita pienemmille yrityksille. Kiinnostusta markkinoilla on ja näin pienemmillä yrityksillä on ollut mahdollisuus kasvaa, kehittyä ja opetella radanpitoa. Tämän muutoksen myötä myös yhä useampien yritysten on ollut mahdollista tehdä erityisesti lyhyiden vaihteiden vaihtoja. (Rautatietekniikkalehti 2015) Usein pienemmät yritykset kuitenkin joutuvat käyttämään alihankkijaa nostotyön suorittamisessa, sillä yritysten ei välttämättä ole kannattavaa sijoittaa omiin nostolaitteisiinsa. Tällöin tulee varmistua nostotyön riittävästä suunnittelusta ja oikeiden laitteiden valinnasta.

Yleisesti radanpidon töissä ovat viime aikoina yleistyneet niin kutsutut kiskopyöräajoneuvot. Kiskopyörillä voidaan varustaa nykyään monenlaisia erilaisia ajoneuvotyyppiejä kuten kaivinkoneita, kuorma-autoja tai jopa pakettiautoja. Kiskopyöräajoneuvot voidaan ajaa tai kuljettaa lähelle kunnossapidettävää kohdetta josta siirrytään kiskoille. (Liikennevirasto 2011a) Todennäköistä on, että kiskopyörillä varustettujen ajoneuvojen käyttö radanpidon töissä tulee yleistymään entisestään tulevaisuudessa, varsinkin pienemmissä töissä. Vaihdetta vaihdettaessa kiskopyöräkaivinkone on hyvä väline osassa työvaiheita, mutta nostotyöhön sitä ei suositella (Viitala 2015). Kiskopyöräkaluston etu yrityksille on sen muuntamisominaisuudet ja laitteesta voidaan muokata helposti tarpeen mukainen. Vuonna 2011 tehdyssä Liikenneviraston julkaisussa (Liikennevirasto 2011a) kehoitettiin ottamaan tulevaisuudessa kiskopyöräajoneuvojen nousupaikat ja myös liikuminen paremmin huomioon. Nousupaikat ja huoltotiet ovat elinehto myös vaihteiden

vaihtotyömaille, jotta kaikki tarvittavat välineet saadaan radalle tai radan viereen. Ilman huoltoteitä nostolaitteiksikaan ei voitaisi valita kuin raidenosturi tai kiskopyöräkaivinkone. (Liikennevirasto 2011a) Vallitsevan ohjeistuksen mukaan pääraiteella sijaitsevan vaihteen läheisyyteen on rakennettava huoltotie. Lisäksi, jos pääraiteen vaihdetta muutetaan siten, että sen paikka vaihtuu, on varmistettava, että sinne johtaa myös huoltotie. Nousupaikkoja vastaavasti rakennetaan radanpidon raiteille. Nousupaikan lisäksi radanpidon raiteeseen kuuluu aina tieyhteys, huoltotie. Nousupaikkoja suunnitellaan kaupunkiliikenteen alueilla vähintään 5 kilometrin välein ja muualla 10 kilometrin välein. (Liikennevirasto 2011b)

Kaikkien rautatiealueella käytettävien koneiden tulee olla turvallisia ja käyttötarkoitukseen sopivia. Vaihde-elementin vaihtotyötä suoritettaessa sähköistetyllä radalla on koneessa tai ajoneuvossa oltava nostokorkeuden rajoitin. Konetta voi käyttää väliaikaisesti, jos se on asianmukaisesti maadoitettu ja suojaetäisyyden säilymisestä vastaa sähköturvallisuuteen määrätty henkilö. Sähköradalla vaihde-elementtejä nostaessa on aina olemassa vaara, että työkone rikkoutuu. Toisaalta nostotyötä tehdessä myös taakka voi rikkoutua, kaatua, noston yhteydessä jotain saattaa hajota tai muuta sellaista. Niinpä olisikin viisasta aina maadoittaa työkoneen runko. (Liikennevirasto 2015c)

4.2 Nostokaluston valintaan vaikuttavat tekijät

Nostojen suunnittelua aloitettaessa suunnitellaan käytettävien nostopisteiden ja valitun käsittelytavan lisäksi myös työmaan olosuhteisiin parhaiten soveltuva nostokalusto. Vaihteen vaihtotyömaalle kalustoa valittaessa tulee ottaa huomioon ainakin seuraavat tekijät:

- Nostettavien elementtien painot.
- Vanhojen elementtien poisto.
- Sähköistetty rata.
- Työmaan laajuus ja sijainti.
- Vaihdeelementtien lukumäärä.

Työmaalla tulee ottaa huomioon erityisesti pääsy radan viereen riittävälle nostoetäisyydelle, vanhojen elementtien poistosta johtuva nostokuorman lisäys sekä lisäksi mahdollisesti viereisillä raiteilla oleva liikenne. Yleensä nämä ovat asioita, jotka voivat suunnittelussa unohtua. Näiden tekijöiden perusteella valitaan työmaalle optimaalisin nostokalusto, jonka ulottuvuus ja teho ovat riittäviä. Nostokaluston valinnassa ei siis tule käyttää mitään tiettyjä lainalaisuuksia tai taulukoita, joiden mukaisesti valittaisiin aina sama nostolaitte tietyn tyyppisen vaihteen vaihtoon. Työmaat ovat lähes aina toisistaan poikkeavia ja nostokalusto tulee mitoittaa vallitsevien olosuhteiden mukaan, sillä vain näin välttyään kaikilta yllättäviltä tekijöiltä työmaalla. (Palolahti 2011)

Nostolaitteen tärkein suunnitteluperuste on aina nostettavan suurimman taakan määräämä nostolaitteen vähimmäisnostokapasiteetti. Nostokaluston valintaa ei kuitenkaan tule tehdä tarkastelemalla painavinta uutta elementtiä vaan valinnassa tulee ottaa huomioon ensisijaisesti vanhan elementin poisto. Yleensä aina vanha elementti poistetaan samalla nostolaitteella kuin uusi elementti nostetaan osaksi rataa. Tässä työssä tullaan kappaleessa 5.2.2 käsittelemään tarkemmin tarvittava nostovoiman lisäys vanhan elementin poistoon. Nostokalusto tulee siis mitoittaa suurimman taakan epäedullisimman asennon mukaan, niin kuin nostolaitteet yleensäkin mitoitetaan. Työsuojeluhallinnon oppaan (2010) ja nykyisen vaihde-elementtien kuljetus- ja siirto-ohjeen (Liikennevirasto 2007) mukaan nostokapasiteetin tulisi olla noin 1,15 kertaa suurempi kuin nostettavan taakan paino. Tämän valinnan suhteen tulee olla erittäin kriittinen, sillä vanhan elementin poistosta aiheutuu todennäköisesti noin 30 % nostokapasiteetin lisäystarve. Tästä syystä olisikin suositeltavaa, että nostokaluston kapasiteetti mitoitettaisiin noin 1,3 kertaa suuremmaksi kuin painavimman nostettavan elementin taakka epäedullisimmillaan.

Nostolaitteista voidaan aina selvittää niiden maksimi nostokyky. Yleensä tämä tieto saadaan selville niiden nostokykytaulukkoista. Jokaisesta laitteesta tulee aina tulkita juuri kyseiselle laitteelle laadittua taulukkoa. Taulukon tulkinnassa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että taulukkoon merkataan vaikuttava staattinen kuorma. Dynaamiset ominaisuudet kuten olosuhteet, taakan heiluminen, nykäykset ja nostonopeus tulee myös ottaa huomioon nostolaitetta valittaessa. Vaihde-elementtien laadun varmistamiseksi dynaamisista ominaisuuksista ei saisi aiheutua elementtiin mitään epäsuotuisia tekijöitä. (Asfahl et al. 2006)

Vaihteen vaihtoja tehdään useasti myös sähköistetyn radan alla. Nosteltaessa suuria elementtejä ajolankojen alla muodostetaan yleensä aina työn ajaksi jännitekatko. Näin pystytään varmistamaan turvallinen työskentely ja saadaan käyttöön lisää työskentelytilaa, sillä näin ei tarvitse ottaa huomioon sähköistetyn radan tuomia suojaulottuvuuksia. Nostolaitteen tuleekin olla käyttötarkoitukseen ja olosuhteisiin soveltuva ja käyttöolosuhteiden tulisi vastata nostolaitteen suunnitteluperusteita. Sähköistetty rata yleensä vaikeuttaa vaihde-elementin nostoa ja siirtelyä. Vaihde-elementtien laadun pysyvyyden varmistamiseksi tulisikin nostolaitte valita siten, että elementti voidaan nostaa maasta tai kuljetusvälineestä suoraan ylöspäin. (Liikennevirasto 2007)

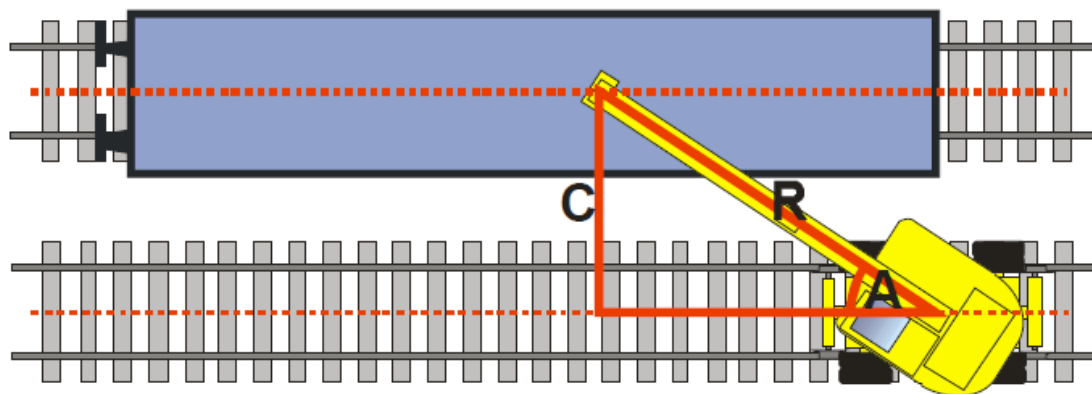
Nostolaitteen valinnan suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös raiteen tai maaperän kantavuus. Jos nostolaitte joutuu liikkumaan vaihde-elementin kanssa, elementin kanssa liikkuminen tapahtuu yleensä kiskoilla liikkuvan nostolaitteen kanssa. Raiteella liikkumassa tulee ottaa huomioon myös radan mahdollinen kaltevuus. Liikkuminen aiheuttaa joka tapauksessa vaihde-elementin heilumista, jolloin nostolaitteen maksimikapasiteettia määritettäessä tämä tulee ottaa huomioon. Maapohjan kantavuudesta tulee varmistua myös muutoin, varsinkin nostettaessa ajoneuvonostureilla ja autonostureilla, sillä aina-kin niiden tukijalat tulee perustaa. (Asfahl et al. 2006 ja Liikennevirasto 2007)

Nostolaitteen valintaan vaikuttavat oleellisesti myös sen käytöstä aiheutuvat käyttökustannukset. Oikean nostolaitteen valinta ei kuitenkaan määräydy pelkästään vaihteen vaihdosta aiheutuvista reunaehdoista vaan työskentelyn tulee olla myös tehokasta. Näin ollen nostolaitetta valitessa tuleekin pohtia kannattaako nostokyvyltään pienintä mahdollista konetta käyttää työmaalla. Toisaalta liian tehokkaan nostolaitteen valinnan saattaa rajata pois sen fyysiset ominaisuudet. Tehokkuus on kuitenkin suoraan verrannollinen tuottavuuteen, joten sellaista nostolaitetta ei kannata valita, jonka kapasiteetti ei riitä työn tehokkaaseen suorittamiseen. Liian tehokas kone taas voi olla tarpeettoman kallis verrattuna siitä saataviin hyötyihin. Nostolaitetta valittaessa voidaan kuitenkin nähdä seuraavien lainalaisuuksien vallitsevan.

- Nostolaitteen tuottavuuden kasvaessa siitä aiheutuvat kustannukset työmaalle kasvavat.
- Nostolaitteen nostokapasiteetin kasvaessa sen tuottavuus kasvaa.
- Nostolaitteen tuottavuuden kasvaessa, siitä aiheutuva yksikkökustannus, kuten kustannukset yhtä nostoa kohden pienenevät. (Asfahl et al. 2006)

Kustannuksien kannalta ei siis välttämättä kannata valita vain halvinta mahdollista nostolaitetta, mikä työn tekemiseen riittää.

Oleellista on selvittää myös työmaan olosuhteet mahdollisimman tarkkaan, jotta vaihde-elementtien nostoa aloitettaessa välttyään ennalta arvaamattomilta tekijöiltä. Esimerkiksi työmaa-alueella olevat sähköpylväät ja pylväiden haruslangat saattavat olla pieniä tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi nostoetäisyyksiin ja nostokulmiin tai pahimmillaan elementin rakenteeseen osuessaan niihin. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että elementin taipuman vuoksi nostopisteitä ei voida säädellä siten, että elementti saadaan helpommin nostettua esteen ohi. Nostoissa tulisi käyttää aina ennalta suunniteltuja nostopisteitä, joten suunnittelussa huomiotta jääneiden tekijöiden vuoksi niitä ei voi säätää. Nostoapuvälineet tulee kiinnittää aina elementtiin siten, että nosto on elementille mahdollisimman edullinen. Nostolaitetta valittaessa tulee ottaa huomioon, että nostolaitteen puomin pituus riittää. Vaihde-elementtiä ei saa nostaa siten, että puomi viedään niin lähelle painopistettä kuin mahdollista ja nostoapuvälineillä täydennetään loppupituus. Puomin tulee aina olla suoraan painopisteen yläpuolella, jotta vaihde-elementti nousee alustaltaan suorassa. (Asfahl et al. 2006) Tällöin nostovoima kohdistuu suoraan ylöspäin. Myös nykyinen ohjeistus (Liikennevirasto 2007) määrää, että nostolaitteeksi tulee valita sellainen kone, jolla vaihde-elementti voidaan nostaa suoraan ylöspäin. Kuvassa 25 on havainnollistettu kuinka riittävä puomin pituus voidaan määrittää. Käytännössä täytyy etukäteen selvittää mihin nostolaitte aiotaan perustaa ja mistä vaihde-elementit nostetaan. Tässäkin vaiheessa tulee suunnittelussa ottaa huomioon, että vanhat elementit saatetaan laskea eri paikkaan kuin mistä uudet nostetaan, jolloin puomin pituus tulee määrittää pidemmän etäisyyden mukaisesti.



Kuva 25. Nostolaitteen puomin minimipituuden määrittäminen (NetworkRail 2011).

Nostolaitteen valintaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että erilaisilla puomin pituuksilla sallittaviin maksiminostokuormiin tulee sisältyä myös nostoapuvälineistä aiheutuva kuorma. Varsinkin käytettäessä nostopuomia vaihteen pituussuunnassa siitä saattaa aiheutua yllättävän suuria kuorman lisäyksiä. Nostolaitteen sijainti tulisi valita siten, että se olisi mahdollisimman lähellä sekä pistettä mistä uusi elementti nostetaan ilmaan että pistettä mihin uusi elementti asetetaan. Tällä tavalla kuvaan 25 merkattu etäisyys R saadaan mahdollisimman pieneksi ja nostolaitteesta saadaan mahdollisimman paljon nostokapasiteettia käyttöön. Suunnittelussa tulee kuitenkin varmistua, että nostolaitteen puomi ei ole myöskään liian lyhyt. Tällöin vaarana voi olla vaihdelementin kontakti nostolaitteen kanssa. (Asfahl et al. 2006)

Nostolaitteen valinnassa tulee myös ottaa huomioon, että vaikka maamme rataverkko on pääasiassa yksiraiteista, voi suurien ratapihojen ja vilkkaiden yhteyksien varrella sijaita vaihteita raiteiden keskellä. Näissä tilanteissa ei ole välttämättä muuta vaihtoehtoa nostolaitteeksi kuin raiteita pitkin kulkeva nostolaitte, kuten raidenosturi. (Väisänen 2015)

4.3 Valittavissa olevia nostolaitteita

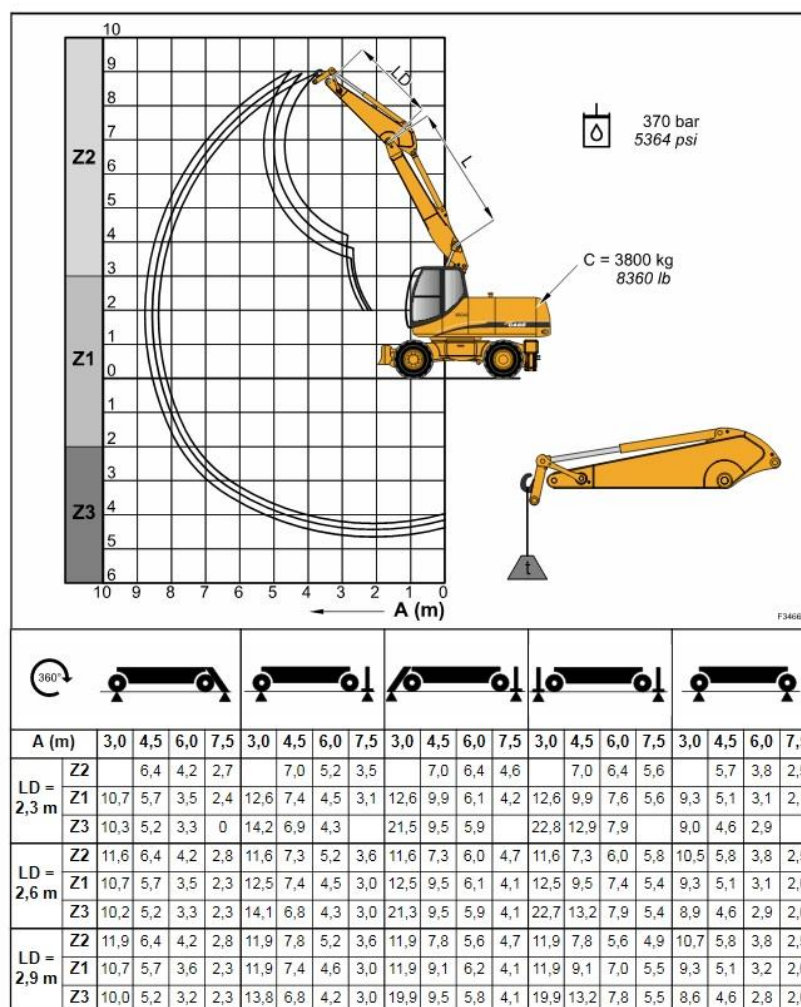
Yksi käytettävän nostolaitteen maksimi nostokykyyn vaikuttava tekijä on momentti, joka saattaa aiheuttaa laitteen kaatumisen kuormaa nostettaessa. Tällainen tilanne voi syntyä silloin, kun nostettavasta taakasta aiheutuva nostolaitteeseen kohdistuva momentti kasvaa suuremmaksi koneen oman painon muodostamasta vastapainosta aiheutuva tasapainottava voima. (Asfahl et al. 2006) Varsinkin sähköistetyllä radalla nostoissa momenttivarsi saattaa kasvaa niin suureksi, että se rajaa tiettyjen laitteiden käyttömahdollisuudet pois. Tässä kappaleessa käydään läpi millaisia nostolaitteita vaihteiden vaihdossa tällä hetkellä käytetään ja millaisia ominaisuuksia niillä on. Tässä työssä ei oteta kantaa kaluston valinnan aiheuttamiin kustannuksiin, vaan tarkastellaan vain miten eri laitteet työhön soveltuvat. Lisäksi nostolaitteen valinnassa tulee ottaa huomioon kuinka paljon se vaatii työskentelytilaa. Varsinkin ajolankojen alla työskenneltäessä tämä on relevantti tieto.

4.3.1 Kaivinkoneet

Kaivinkone on yleisin väline vaihde-elementtien käsittelyyn ja nostoihin Euroopassa. Syynä tähän on lähinnä välineen käytön edullisuus, joustavuus, monikäyttöisyys ja hyvä saatavuus. Vaihteen jakaminen eri elementteihin mahdollistaa kaivinkoneiden käytön. Kaivinkoneita voidaan tuoda työmaalle myös useampia, yleensä kaksi, jolloin niiden avulla voidaan nostaa isompiakin elementtejä. (Mainline 2014) Suomessa kaivinkoneen käyttö vaihde-elementtien nostoissa on kiellettyä. Kaivinkoneiden käyttö voi herkästi aiheuttaa elementtien muodonmuutosta ja yllirasitusta. (Viitala 2015) Vaarana voi myös olla edellä esitetyn maksimimomentin kasvaminen liian suureksi, jolloin vaarana on laitteen kaatuminen. Kaivinkoneiden nostokapasiteettiä tulee koneen kuljettajan seurata itse, koneen ominaisuuksien mukaan, sillä kaivinkoneissa ei välttämättä ole kaatumisen riskistä varoittavaa mekanismia. Muuhun nostokalustoon verrattuna tämä on kaivinkoneiden käytön suurin työturvallisuusriski. (Nieminen 2015)

Kaivinkoneita on monia erilaisia ja kaikilla on omat nostokyvyt ja ominaisuudet. Kaivinkoneissa voi olla kahta erilaista puomityyppiä: kolmoistaittopuomeja tai kiintopuomeja. Varsinkin kiintopuomeilla on paremmat nosto-ominaisuudet kun nivelöidyillä kolmoistaittopuomeilla. Lisäksi kaivinkoneita löytyy pyörillä ja teloilla liikkuvia. (NetworkRail 2011) Ongelmana nostojen kannalta tehokkaamman kiintopuomin käytössä on se, että kiintopuomeilla on varusteltu pääasiassa telalaitteet ja pyörillä varustetuissa laitteissa on kolmoistaittopuomit. (Nieminen 2015) Vaihde-elementtien vaihtotyömailla tehtyjen havaintojen perusteella työmailla käytetään pääasiassa pyörillä liikkuvia kaivinkoneita, jolloin niillä voidaan liikkua myös kiskoilla. Tällöin näiden laitteiden nosto-ominaisuudet ovat heikommat kuin telalaitteilla.

Kaivinkoneiden nostokyky taulukoidaan yleensä kuvan 26 mukaisella tavalla. Kuvassa on taulukoitu juuri kolmoistaittopuomilla varustetun kaivinkoneen nostokyvyt, sillä tämän laitteen käyttö työmaalla on todennäköisempää kuin telalaitteiden. Vastaavanlaisia taulukoita löytyy kaikista kaivinkonetyypeistä. Oheisesta taulukosta voidaan havaita, että nostovarren kasvaessa yli kolmeen metriin ei kaivinkoneilla voida enää suorittaa vaihde-elementtien nostoa tehokkaasti ja turvallisesti.



Kuva 26. Esimerkki kaivinkoneen nostokykytaulukosta (Nieminen 2015).

Taulukosta voidaan myös havaita, että nostoetäisyyden kasvaessa kaivinkoneen nostokyky heikkenee merkittävästi. Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella kaivinkoneen etuna nostoissa on se, että ne eivät vaadi ajolankojen väliin jäävästä työtilasta isoa osaa, jolloin tilaa jää mahdollisimman paljon käytettäväksi nostoapuvälineille.

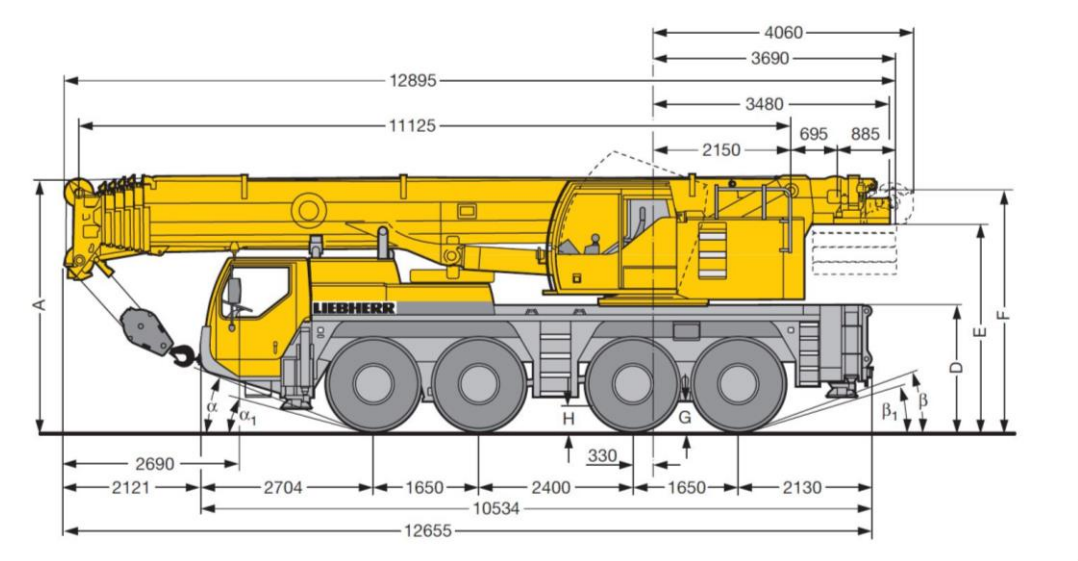
Kaivinkoneiden käyttöä nostoissa on myös tutkittu. Edwards et al. (2009) tulivat tutkimuksessaan siihen tulokseen, että nykyisellä kehityksellä kaivinkoneita voisi teoriassa käyttää myös nostotyössä. Tällöin koneen käytön riskit kuitenkin kasvavat merkittävästi. Varsinkin vaihde-elementtien nostoissa on vaarana, että nostoapuvälineet koskettavat koneeseen, koska nostokapasiteetti riittää vain pieniin nostoetäisyyksiin. Nostoapuvälineiden osuessa koneeseen on suurena vaarana niiden vääntyminen ja vaurioituminen, jolloin taakka saattaa ennalta arvaamattomasti pudota. Toinen merkittävä haitta on vaihde-elementin liikkuminen noston aikana. Dynaamiset voimat saattavat kohdistua tiettyihin laitteen osiin, jolloin varsinkin puomin päässä ylitetään sallittu nostokapasiteetti. Tämä saattaa aiheuttaa vaurioita laitteen hydraulikkaan. (Edwards et al. 2009)

Tämänkään tutkimuksen perusteella kaivinkoneita ei tulisi käyttää vaihde-elementtien nostoissa, sillä niiden nostokapasiteetit ja toimintasäteet ovat liian pieniä. Lisäksi kaivinkoneen käyttö ei ole niin koneen käyttäjälle kuin muillekaan työmaalla työskenteleville yhtä turvallista kuin muilla laitteilla.

4.3.2 Ajoneuvonosturi

Ajoneuvonostureiden avulla saadaan nostokapasiteettia käyttöön huomattavasti enemmän kuin kaivinkoneilla. Nämä nostolaitteet ovat lisäksi suunniteltu täysin nostotöitä varten, joten ne ovat huomattavasti turvallisempia sekä vaihteelle että työntekijöille. Tämä johtuu siitä, että ajoneuvonostureiden mitoitus on seikkaperäistä ja nostolaitteet valvovat elektronisesti työtä, jolloin sekä työtila että työn vakavuus ovat koko ajan valvonnassa. Tällöin riski onnettomuuksille ja vaihde-elementtien vaurioitumiselle on pienempi kuin kaivinkoneilla. (Työturvallisuuskeskus 2012) Ajoneuvonostureiden turvallisuudesta on tehty tutkimuksia ja niissä on todettu, että suurin osa syntyneistä onnettomuuksista olisi pystytty välttämään huolellisella nostojen suunnittelulla ja työturvallisuusohjeiden noudattamisella. Ajoneuvonostureilla tehtäviä nostoja voidaankin siis pitää turvallisina sekä työntekijöille että vaihde-elementeille. (Simola 2009)

Ajoneuvonosturin haittana on, että sitä ei voida käyttää radalla, joten niitä voidaan hyödyntää elementtien nostoon vain silloin kuin radan viereen on hyvät tieyhteydet. Ne tarvitsevat enemmän tilaa ja yleensä ratkaiseva tekijä niiden käyttöä mietittäessä on etäisyys nosturin sijoituspaikan ja vaihteen asennuspaikan välillä. (Mainline 2014) Yksi merkittävä haitta ajoneuvonosturin valintaa tehtäessä on myös niiden vaatima osa ajolankojen ja radan väliin jäävästä nostotilasta. Kuvassa 27 on esitetty erään ajoneuvonosturityypin mittoja.



Kuva 27. Ajoneuvonosturin mittoja (Liebherr 2005).

Nostureiden mitat vaihtelevat aina valittavan nostolaitetyypin mukaan, mutta puomi on noin metrin korkuinen tyypistä riippuen, jolloin ajolankojen alla olevasta tilasta jo pelkästään nostolaite kuluttaa merkittävän osan.

Työmaalla tehtyjen havaintojen mukaan ajoneuvonosturi ovat kuitenkin yksi parhaista valittavissa olevista nostolaitteista ja ne soveltuvat myös ajolankojen alla työskentelyyn, kuten kuvasta 28 voidaan havaita.

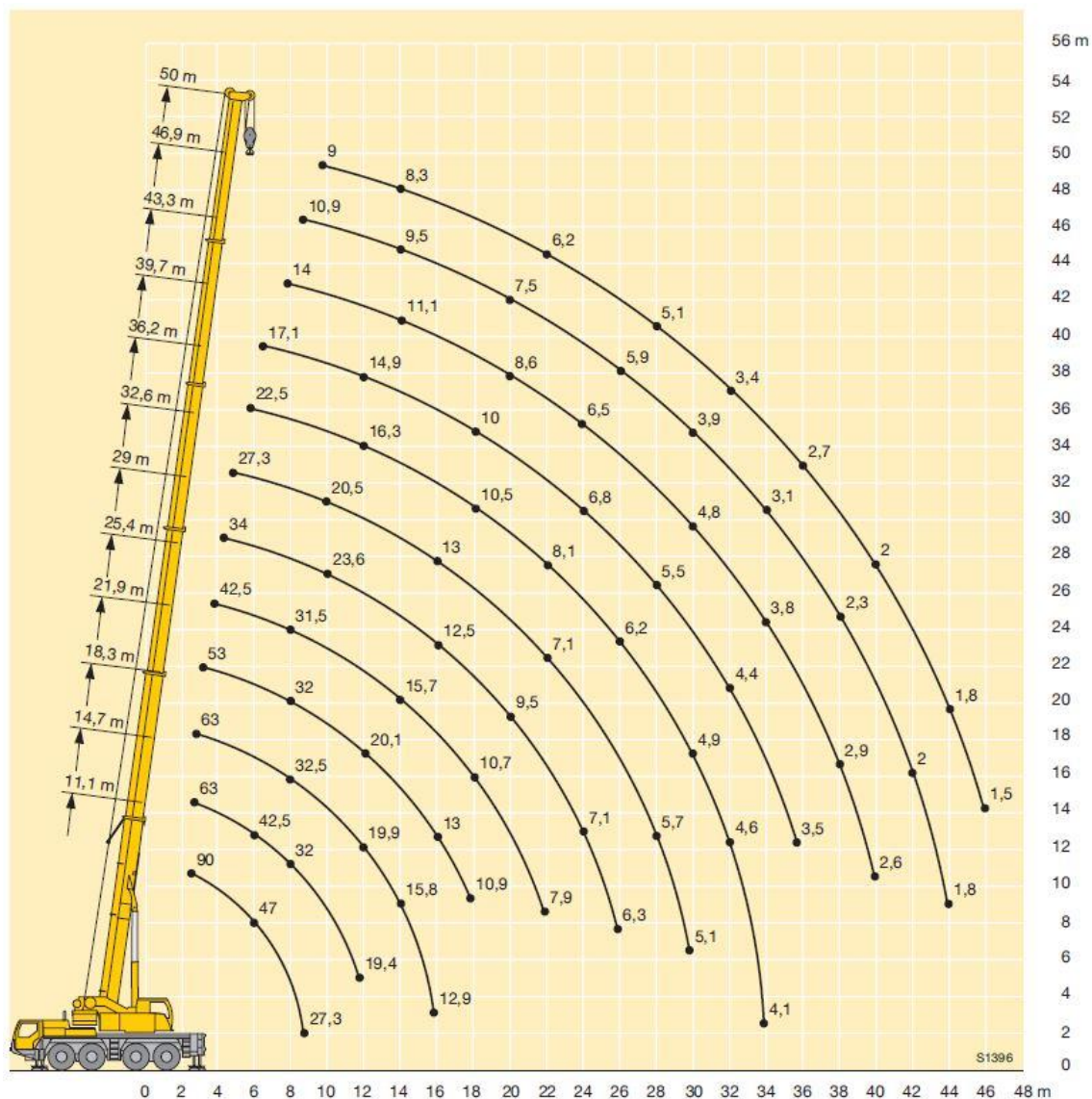


Kuva 28. *Vaihte-elementin vaihto kahden ajoneuvonosturin avulla.*

Ajoneuvonosturien ja muidenkin isompien nostureiden käytössä tulee aina ottaa huomioon, että ne pitää pystyä perustamaan työmaan viereen, kuten aiemmin jo kerrottiin. Tavallisesti ajoneuvonosturissa on neljä tukea, yksi jokaisessa laitteen kulmassa, mikä vaatii enemmän tilaa asennuspaikalta. Toisaalta lähimmässä vapaassa paikassa ei välttämättä ole riittävän vahva maapohja tukemiselle. Tilanteita, joissa tuet uppoavat maapohjaan tulee välttää, sillä nostoista tulee tällöin epävakaita. (Tamate et al. 2006)

Lisäksi työmaalla tulee ottaa huomioon, että nostokapasiteetti ei välttämättä riitä, jos perustuspaikalta on vaihteelle kohtuuttoman pitkä matka. Ajoneuvonosturinkin valinnan suunnittelussa tulisi tutkia millainen kuvan 25 mukainen etäisyys nostolaitteen ja nostokohtien välille muodostuu. Nostolaitteen valinnan suunnitteluun tulee siis aina kiinnittää erityistä huomiota. Kuvassa 29 on esitelty yhden ajoneuvonosturin nostokykyaulukko.

Vastaavanlaisia nostokykytaulukkoja löytyy muistakin ajoneuvonosturimalleista helpottamaan oikeanlaisen laitteen valinnassa.



Kuva 29. Ajoneuvonosturin esimerkki nostokykytaulukko (Liebherr 2005)

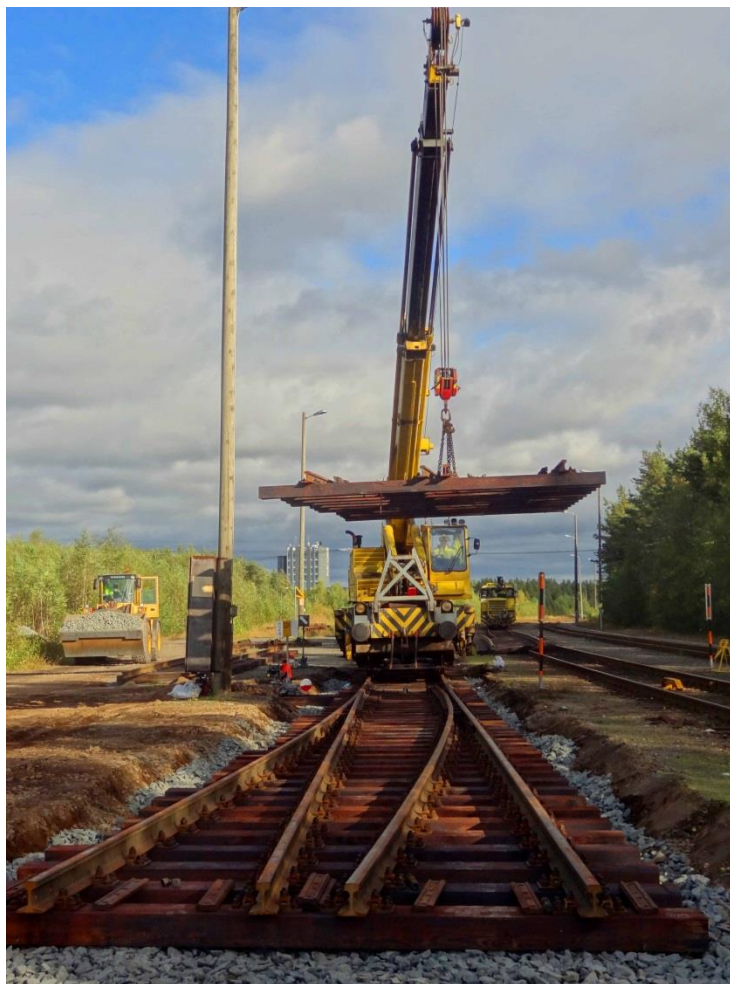
Kuvasta voidaan havaita, että ajoneuvonosturin kapasiteetti on huomattavasti kaivinkonetta suurempi ja sen avulla päästään työskentelemään myös pitemmällä säteellä.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että ajoneuvonosturi on yksi parhaista valittavissa olevista nostolaitteista vaihde-elementtien käsittelyyn. Laitteen ainoana huonona puolenä ovat suuret fyysiset mitat, mitkä saattaa vaikeuttaa työskentelyä varsinkin ajolankojen alla. Ajoneuvonosturi valittaessa tulisi silti myös tutkia nostolaitteen ja nostokohtien välisiä etäisyyksiä ja työmaan muita olosuhteita. Tällä tavalla pystytään välttämään ennakoimattomat ongelmat työtä tehtäessä.

4.3.3 Raidenosturi

Raidenosturi on kiskojen päällä käytettävä nostolaite. Laite on suunniteltu varta vasten tekemään nostotyötä raiteilla. Raidenosturien käytöllä pystytään vaihde-elementtien nostot suorittamaan riittävällä varovaisuudella ja tehokkuudella. Tällä tavalla pystytään välttämään rasitukset ja vaihteen muodonmuutokset tehokkaasti. Tästä syystä raidenosturi on hyvin yleinen työväline varsinkin Euroopassa vaihdetoita tehtäessä. (Mainline 2014)

Raidenosturien käyttö on kuitenkin kalliimpaa kuin kaivinkoneiden tai ajoneuvonosturien käyttö, mutta niitä yleensä pystytään käyttämään myös muihin toimiin kuten esimerkiksi onnettomuuspaikkojen raivauksiin. (Mainline 2014) Lisäksi raidenostureita on saatavissa harvoilta yrityksiltä, joten niiden käyttö vaatii yleensä laitteen hankkimista. Kuvassa 30 on raidenosturi nostamassa vaihteen YV54-200N-1:9 risteuselementtiä.



Kuva 30. Raidenosturi nostamassa vaihde-elementtiä.

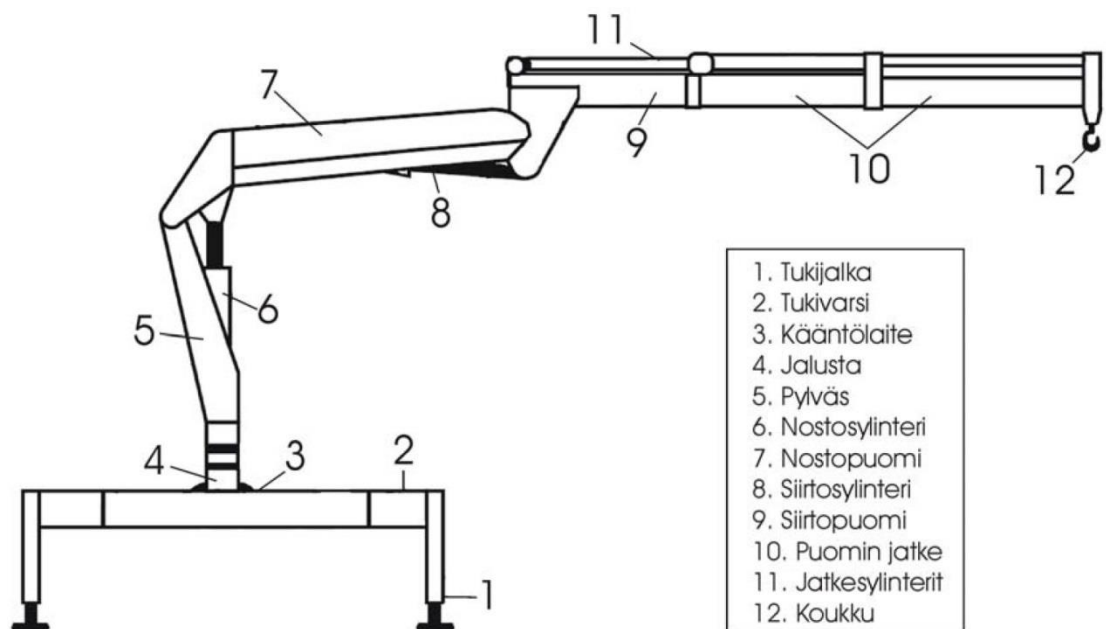
Kuten kuvastakin nähdään, raidenosturin avulla voidaan vaihde-elementtejä kuljettaa raiteita pitkin. Näin ollen ne ovat huomattavasti joustavampia kuin esimerkiksi ajoneuvonosturi, mikä pitää perustaa radan viereen. (Mainline 2014)

Raidenosturin suurin hyöty suhteessa kaivinkoneeseen ja ajoneuvonosturiin saadaan kuitenkin silloin, kun radan viereen ei voida viedä nostolaitetta. Joissakin vaihteenvaihto kohteissa, kuten Helsingin ja Tampereen ratapihoilla vaihteet voivat sijaita raiteiden välissä, jolloin nostokalustoksi on pakko valita raidenosturi. Muilla nostureilla työ jouduttaisiin tekemään liian kaukaa. (Väisänen 2015 ja Kirow 2015b) Työmaalla tehtyjen havaintojen ja haastattelujen perusteella varsinkin raidenosturin käytössä tulee käyttää tarkkaavaisuutta, jos ympärillä olevilla raiteilla liikennöinti jatkuu työn aikana. Vaarana on, että nosturin perä on viereisen raiteen aukean tilan ulottuman sisällä.

Tutkimuksen mukaan raidenosturin käyttö on erittäin hyvä valinta vaihde-elementtien nostoille. Sen avulla työ pystytään myös suorittamaan tilanteissa missä muiden nostolaitteiden käyttö voi olla haasteellista.

4.3.4 Kuormausnosturi

Kuormausnosturi on kuorma-autoon tai muuhun ajoneuvoon, työkoneeseen tai perävauunuun asennettu nostolaite, jonka pääasiallinen tarkoitus on kuormata tai lastata ajoneuvo. Itse nostolaite on konekäyttöinen ja kuorma liikkuu täysin nostoapuvälineiden ohjaamana. Kuormausnostureita valmistetaan eri kokoluokissa ja suurimpia käytetään pelkästään nostotöihin. Kuormausnosturin puomia voi olla myös jatkettuna lisäpuomistolla, joka koostuu jatkopuomista ja nivelestä. (Onnettomuustutkintakeskus 2011) Yleisen kuormausnosturin rakenne ja jatkoksi kiinnitetty lisäpuomisto on esitelty kuvassa 31.



Kuva 31. Kuormausnosturin rakenne (Onnettomuustutkintakeskus 2011).

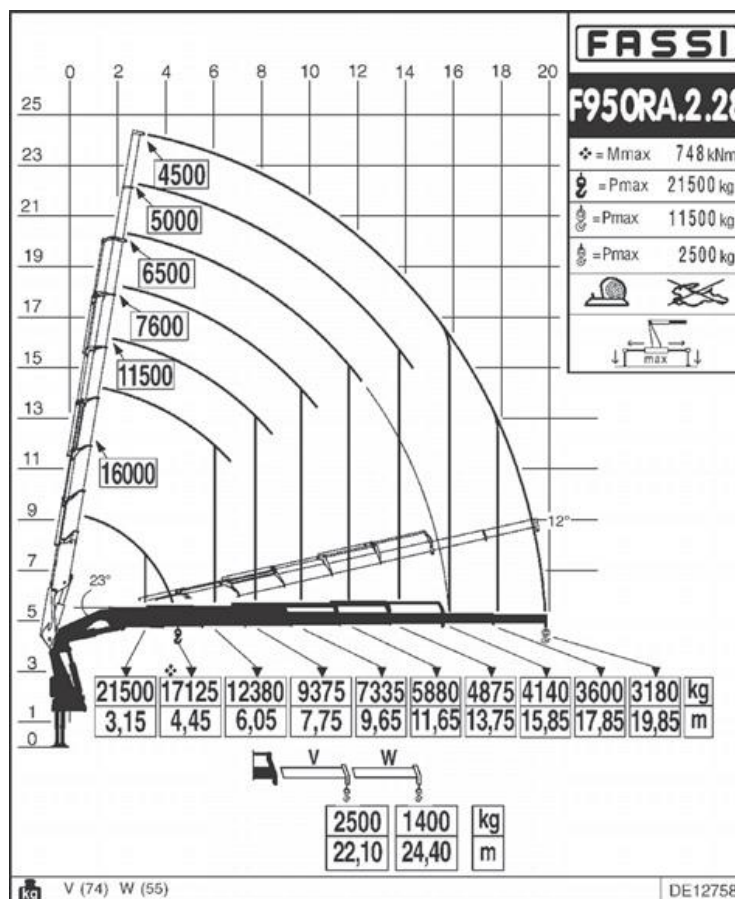
Kuvasta voidaan hyvin havaita, kuinka kuormausnosturi on erillinen laite, joka voidaan asentaa haluttuun ajoneuvoon.

Kuormausnosturin käyttö on siis pääasiassa tarkoitettu ajoneuvon kuormaamiseen ja purkamiseen, mutta sitä voidaan käyttää myös erilliseen nostotyöhön. Nostolaitteiden käyttö nostoihin tulisi kuitenkin aina arvioida tapauskohtaisesti, sillä ne eroavat kiinteistä nostolaitteista merkittävästi. (Aluehallintovirasto 2014) Kuormausnosturin kiinnitys ajoneuvoon riippuu käytettävästä ajoneuvosta, mutta kuorma-autoissa se on pääsääntöisesti sijoitettu auton runkoon ohjaamon taakse. (Onnettomuustutkintakeskus 2011) Kuvassa 32 on esitelty kuormausnostureiden käyttö vaihde-elementtien nostoissa.



Kuva 32. Kuormausnostureiden käyttö vaihde-elementtien nostossa.

Kuormausnosturin erillinen rakenne vaikuttaa sen nostokykyyn. Nostokyky ilmoitetaan laitteen kuormakilven mukaisesti. Nostolaitteessa tulee olla luettavissa nostokykykilpi, josta voidaan nähdä nostolaitteen nostokyky puomin eri pituuksilla. Nostokykykilven sijaan nostolaitteessa voi olla myös nostokykytaulukko kuvan 33 mukaisesti. Tärkeintä on, että laitteesta saadaan helposti selville sen suurin sallittu kuormitus (SKK). (Aluehallintovirasto 2014) Kuormausnosturin nostokyky käyttäytyy hyvin samalla tavalla kuin kaivinkoneilla. Jos elementtiä joudutaan nostamaan kauas laitteesta, nostokyky pienenee merkittävästi. Kuormausnosturien käyttö tulee siis myös suunnitella huolella, kuten kaikkien muidenkin nostolaitteiden käyttö.



Kuva 33. Fassi 950 kuormausnosturin nostokykytaulukko (Kurko Koponen 2015)

Kuormausnosturien nostokykytaulukosta voidaan havaita, että verrattuna ajoneuvonosturiin nostokyky on huomattavasti pienempi. Yleensä kuormausnostureita tarvitaankin kaksi, jotta työn laatu voidaan taata. Kuormausnosturin työturvallisuutta lisää rajoittimet, jotka pysäyttävät nosturin kuormitusta suurentavat liikkeet. Lisäksi kuormausnostureita voi ohjata kaukokäyttöisesti, jolloin nostotyön tekijä pystyy olemaan asennuspaikan vieressä ja kaikki turhat vaihde-elementtiin kohdistuvat rasitukset saadaan mahdollisimman pieniksi. (Aluehallintovirasto 2014)

Tutkimuksen perusteella kuormausnostureita voidaan käyttää vaihde-elementtien nostoissa. Yleensä niitä vaaditaan työhön useampi kuin yksi, mikä lisää riskiä vaihde-elementtien epäsuotuisille rasituksille. Tästä syystä kuormausnosturien käyttö vaatii erityisen hyvää etukäteissuunnittelua.

4.3.5 Vaihteenasennuskone

Tässä tutkimuksessa on tarkoitus tutkia lyhyiden vaihteiden eri elementtien nostoa, joita voidaan erilaisilla nostolaitteilla, sillä tällöin nostot ovat kaikkein epävarmimpia vaihde-elementtien kannalta. Käytössä olevia koneita on kuitenkin hyvä verrata vaihteen nostoja varten erityisesti suunniteltuun laitteeseen. Vaihteen nostossa ja käsittelyssä ylivoimaisesti paras tulos saadaan käytettäessä vaihteenasennuskonetta. Suomessa ainoastaan

VR Track Oy:llä on käytössä radiokauko-ohjattava vaihde-elementtien nosto- ja siirto-laite Desec Tracklayer TL 70, jota kutsutaan myös nimellä vaihteenasennuskone. (VR Track 2015) Kuvassa 34 on vaihteenasennuskone työssään.



Kuva 34. *Vaihteenasennuskone työssään (Kirow 2015c)*

Vaihteenasennuskone pystyy liikkumaan vaihde-elementin kanssa mihin tahansa suuntaan esteidenkin yli. Sen mittoja pystytään säätämään aina tarvittaviksi riippuen siitä, minkä vaihteen eri elementtiä tarvitsee siirtää. Laitteen etuna on, että se pystyy nostamaan vaihde-elementin lisäksi myös itsensä. Näin sen avulla voidaan liikkua raiteiden ja muiden ratavarusteiden yli ilman, että niihin syntyy vahinkoa. Tämä on myös ainoa tapa varmistua, että noston ja siirron aikana syntyvät dynaamiset kuormat pysyvät mahdollisimman pieninä. Sen avulla elementistä pystytään tarttumaan monesta kohtaa kiinni eikä nostossa synny kuin pystysuuntaisia nostavia voimia, jolloin muut elementtiin kohdistuvat rasitukset ovat mahdollisimman pieniä. (Kirow 2015c)

Vaihteenasennuskone on käytännössä puominosturi ja sen avulla voidaan vaihteita nostaa myös kokonaisina. Maailmalla käytössä on paljon erilaisia laitteita ja eri mallien nostovoima vaihtelee 30–60 tonnin välillä ja hyväksytty käyttöpituus 35–50 metrin välillä. Nostureita voidaan kuitenkin myös yhdistellä esimerkiksi käyttämällä kahta laitetta samanaikaisesti. (Mainline 2014) Suomessa käytössä olevan vaihteenasennuskoneen enimmäiskapasiteetti on 36 tonnia ja kuorman enimmäispituus 36 metriä. (VR Track 2015)

Vaihteenasennuskoneen huonoja puolia on, että se pitää aina kuljettaa työkohteeseen ja nopeus on yleensä vain 1-5 km/h, joten myös elementtien kuljetusmatkoja vaihteenasennuskoneella tulee miettiä. Laitteet ovat myös muuntautumiskyvyttömiä ja kalliita, eikä niitä ole saatavilla yhtä helposti kuin muita nostolaitteita. (Mainline 2014)

5. TYÖN SUUNNITTELU

Vaihde-elementtien nostoon, kuljetukseen ja koneiden sekä nostoapuvälineiden valintaan vaikuttavat monet eri tekijät, joiden vaikutusta kuvataan tässä luvussa. Pääpaino tutkimuksessa on nostoissa ja kuljetuksien osalta käsitellään vain ne asiat, mitkä osaltaan vaikuttavat myös nostoihin. Vaihteen nostamiseen voidaan valita erilaisia käsittelytapoja työmaan olosuhteiden perusteella. Valittu käsittelytapa vaikuttaa osaltaan muuhun noston suunnitteluun. Tästä syystä kaikkia suunnittelun osa-alueita tulisi aina tarkastella samanaikaisesti. Tässä luvussa käydään läpi niitä tekijöitä, joita tulisi miettiä ennen kuin vaihde-elementin nosto nostopisteistä aloitetaan. Kappaleen aikana tutustutaan eri nostotapoihin, jotka luovat pohjan nostopisteiden määrittämiselle. Luvussa ei kuitenkaan oteta syvemmin kantaa työturvallisuuteen, joka on ehdottomasti yksi tärkeimmistä työn suunnittelun perusteista. Turvallisuusasiat käsitellään tutkimuksen aikana myöhemmin.

5.1 Noston suunnittelu

Vaihde-elementeillä on elinkaarensa aikana useita eri nostovaiheita. Nostovaiheita voidaan nähdä olevan ainakin neljä. Ensin yksittäinen elementti nostetaan vaihdehallilla kuljetusvälineeseen, minkä jälkeen se nostetaan kuljetusvälineestä asennuspaikkaansa osaksi rataa. Elinkaarensa loppuvaiheessa elementti nostetaan radasta kuljetusvälineeseen, josta se nostetaan lopuksi pois ja hävitetään. Elementtejä kierrätettäessä sen elinkaareen tulee kaksi nostovaihetta lisää, uuteen paikkaan siirrettäessä. Jokaiseen näistä nostoista tulee valmistautua etukäteen huolellisesti varsinkin silloin, kun vaihde-elementti nostetaan osaksi rataa. Nostojen etukäteisellä suunnittelulla pystytään merkittävästi vaikuttamaan siihen, että vaihde-elementti saadaan täysin vahingoittumattomana ja turvallisesti sijoitettua osaksi rataa. Vaihde-elementtien nostot poikkeavat muiden teollisten tuotteiden nostoista siten, että niiden geometrian määrittää täysin muu rata-geometria ja haluttu junaliikenne, kuten aiemmin todettiin. (Liikennevirasto 2012) Näin ollen noston helpottamiseksi niiden rakenteeseen ei voida tehdä muutoksia. Nostopisteiden ja käytettävien laitteiden suunnittelu tehdäänkin valmiille vaihde-elementeille lisäämättä rakenteeseen mitään.

Tällä hetkellä noston suunnittelua tehdään osaltaan jo vaihde-elementin valmistusvaiheessa kokoonpanohalleilla. Vaihdehalleilla merkitään vaihteeseen kaikki mahdollinen työtä helpottava tieto, kuten elementin painopiste ja nostopisteet. Vaihde-elementille on siis etukäteen määritetty nostopisteet ja työn päätoteuttaja päättää nostoissa käytettävät laitteet siten, että pystyy näitä pisteitä käyttämään. (Työsuojeluhallinto 2005 ja Väisä-

nen 2015) Toisaalta nykyinen ohjeistus (Liikennevirasto 2007) ohjaa myös nostopisteiden suunnittelua siten, että nostojen aikana taipuma ei saa nousta suuremmaksi kuin $L/50$, missä L on vaihde-elementin pituus. Ohjeistuksessa ei kuitenkaan oteta kantaa kenen tehtävä taipuman määrittäminen on. Vanhojen vaihteiden osalta nostopisteitä taas ohjataan tiedustelemaan vaihteen suunnittelijalta. Nykyisessä ohjeistuksessa onkin noston suunnittelun ja erityisesti nostopisteiden määrittämisen osalta havaittavissa merkittäviä ristiriitoja eri työvaiheiden ja osapuolten välillä. Työmailla tehtyjen havaintojen perusteella jokaiselle työmaalle tulisi aina tehdä oma nostosuunnitelma, sillä kohteessa saattaa sijaita pakkopisteitä kuten esimerkiksi sähköpylväitä, jotka vaikuttavat noston suorittamiseen.

Nostotyöt voidaan jaotella kahteen eri kategoriaan, joita ovat rutiininomaiset tavalliset nostot ja erikoisnostot. Nostoja arvioidaan sen takia, että pystyttäisiin tunnistamaan jokaisesta nostosta kaikki mahdolliset riskit ja hallita niitä. Tavanomaiset nostot ovat toistuvia ja yleensä tarkastellaan nostoon tarvittavia apuvälineitä, nostolaitteita sekä nostoaluetta. Erikoisnostoissa kaikki tämä arviointi toteutuu myös, mutta yleensä tarkempaan. Lisäksi erikoisnostoissa työn suunnitteluun ja toteutukseen osallistuu enemmän alan asiantuntijoita ja muuta henkilökuntaa. (WSH Council 2014) Vaihde-elementtien nostot ovat erikoisnostoja ja tämän takia myös tässä työssä pyritään tutkimaan mahdollisimman kattavasti kaikki nostoon vaikuttavat osa-alueet. Tutkimus pyritään tekemään mahdollisimman yleisesti, jotta sitä voitaisiin hyödyntää myös muissa vaihdetyypeissä. Suositeltavaa kuitenkin on aina ennen yksittäisen työmaan nostotyön aloittamista selvittää seuraavat asiat riippumatta vaihdetyypistä:

- Nostettavien elementtien painot.
- Elementtien mitat.
- Painopisteiden sijainnit.
- Nostoapuvälineiden painot ja mitat.
- Nostokulmat.
- Asennuspaikka.
- Suurin korkeus, johon elementti täytyy nostaa.
- Nostopisteiden sijainnit. (WSH Council 2014)

5.1.1 Nostosuunnitelma

Paras tapa, jolla pystytään varmistamaan vaihde-elementtien kunnon säilyminen nostojen aikana, on suunnitella jokaisen vaihde-elementin nosto etukäteen ja riittävällä tarkkuudella. Suunnittelusta tulee laatia nostosuunnitelma, jotta riittävä tiedonkulku kaikille työntekijöille ja työn osapuolille voidaan varmistaa. Nostosuunnitelma on lisäksi lakisääteinen vaativissa nostoissa. Erikoisnostot, kuten esimerkiksi yhteisnostot useammalla laitteella, suurten kappaleiden nostot, raskaat nostot tai vaativissa olosuhteissa tapahtuvat nostot vaativat aina erillistä kirjallisesti tehtävää suunnitelmaa. (Työsuojeluhallinto 2005) Näihin nostoihin lukeutuvat myös vaihde-elementtien nostot. Liikennevirasto

vaatii kaikista rautatiealueella tehtävistä nostotöistä kirjallisen nostosuunnitelman. Suunnitelmassa vaaditaan arvioitavaksi kaikki rautatiejärjestelmälle aiheutuvat turvallisuusriskit. Lisäksi suunnitelmaan tulee kirjata riskejä pienentävät toimenpiteet. (Liikennevirasto 2015c) Nykyisessä ohjeistuksessa (Ratahallintokeskus 1999) nostosuunnitelma kuuluu osaksi työmaan työ- ja laatusuunnittelua, joten siitä ei käytännössä vaadita omaa asiakirjaa. Vaihde-elementtien nosto ja siirto-ohje (Liikennevirasto 2007) määrää vaihdetyömaasta tehtäväksi asennussuunnitelman. Ohjeessa on myös pohja asennussuunnitelmassa. Tässä suunnitelmassa ei kuitenkaan yksityiskohtaisesti ohjata nostojen suunnittelua.

Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella nostoista laaditaan hyvin erilaisia ja eritasoisia nostoja käsitteleviä suunnitelmia. Osassa suunnitelmista keskitytään täysin turvallisuuden varmistamiseen, mikä toki on onnistuneen työn vähimmäisvaatimus. Yhteistä kaikille nähdylle nostosuunnitelmille kuitenkin on, että niissä ei oteta kantaa käytettävii nostopisteisiin tai nostoista mahdollisesti elementteihin kohdistuviin vaurioihin. Jatkossa hyvällä nostosuunnitelman laatimisella voitaisiinkin parantaa myös vaihde-elementtien laadun pysyvyyttä. Nostosuunnitelmalle tulisikin laatia pohja, mikä ohjaisi ottamaan huomioon kaikki noston laatuun vaikuttavat tekijät.

5.1.2 Muiden työvaiheiden vaikutus noston suunnitteluun

Noston suunnitteluun vaikuttaa merkittävästi aina kunkin vaihtenvaihtotyömaan olosuhteet. Työmailla on myös paljon yhteisiä tekijöitä. Vaihteen vaihdon työmaata järjestettäessä vaihteen eri elementtien vaihtojärjestys esitetään aina työselityksessä. Vaihtojärjestys tehdään kuitenkin erikseen jokaiselle työmaalle. Elementtien kuljetus myös järjestetään siten, että elementit saapuvat tässä järjestyksessä työmaalle. Vaihdetoimittaja ja luovuttaa asennustyön päätoteuttajalle eli vaihteen vastaanottajalle luovutusprotokollan, tarvikeluettelon, mahdollisen pölkkypiirustuksen sekä palauteraporttilomakkeen. Vaihteen etu- ja takajatkospölkkyt toimitetaan yleensä valmiiksi levytettyinä tai ne levytetään ennen työkatkoa, jolloin asennustyöaika saadaan lyhyemmäksi. Työstä vastaava huolehtii, että kaikki osat ovat tulleet ja kunnossa. Erityistä huomiota tulee kiinnittää vaihdepölkkyjen sijaintiin ja suoruuteen, sillä ne voivat liikkua jo kuljetuksen aikana. Vaihde-elementtien pölkkyjen keskelle on maalattu väripilkut ennen kuljetusta helpottamaan poikkeamien havaitsemista. Näitä merkintöjä voidaan käyttää avuksi myös nostojen jälkeen, pölkkyjen asentojen varmistamiseksi. Jos vaihteessa ilmenee vikoja tai puutteita, tulee ne korjata ennen vaihteen asentamista. (Ratahallintokeskus 1999)

Vaihteen saapumisen jälkeen voidaan aloittaa nostotyö, jos työmaan muut vaiheet sen sallivat. Työmaalla tulisi yrittää välttää vaihteiden välivarastointia mahdollisimman paljon. Vaihteen kunnan kannalta paras lopputulos saadaan, kun elementit nostetaan suoraan kuljetusyksiköstä osaksi rataa. Jos vaihde-elementtejä kuitenkin varastoidaan väliaikaisesti tai pidempään, niitä ei saa pinota päällekkäin, koska pölkkyihin saattaa syntyä taipumisen aiheuttamia vaurioita jo lyhyessä ajassa. (Ratahallintokeskus 1999)

Kappaleen 3.4 mukaisesti olisi radasta poistettavien vanhojen elementtien tuleva mahdollinen käyttötarkoitus myös hyvä tietää jo tässä vaiheessa. Näin vanhat vaihteet voitaisiin tarvittaessa nostaa radasta ja kuljettaa pois siten, että ne eivät vaurioidu, jos ne on tarkoitus kierrättää toiseen paikkaan. Toisaalta taas vanhojen vaihteiden varovaiseen käsittelyyn ei suotta käytetä liikaa aikaa, jos ne on tarkoitus hävittää.

Jokaisesta työmaasta laaditaan aina myös aikataulu, jonka tulee olla toteutettavissa. Vaihteen vaihtotyö saattaa katkaista junaliikenteen pitkäksikin aikaa, joten viivästyksset saattavat aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia. Työn liitteessä A on erään työmaan aikataulu. Siitä voidaan havaita, että vaihteen asennus, joka sisältää myös nostovaiheet, on vain yksi vaihe koko työmaata. Lisäksi tästä vaiheesta pelkästään vaihde-elementtien nostoon varataan vain muutama tunti, jonka jälkeen työmaalla asennetaan jo muita elementtejä osaksi rataa samalla kun seuraavia elementtejä nostetaan paikalleen. Toisin sanoen työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella voidaan todeta, että nostot ovat vain osa isoa työmaata, mutta ne ovat kuitenkin koko työn onnistumisen ja aikataulussa pysymisen kannalta erittäin tärkeä vaihe. Työmaalle saapumisen jälkeen vaihde voi vaurioitua seuraavan kerran nostojen aikana.

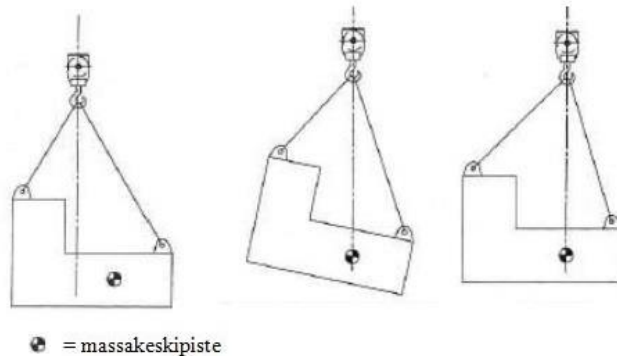
5.2 Elementin painon merkitys nostoissa

Nostettavan taakan paino on aina jokaisen noston suunnittelun lähtökohta. Nostoissa tarvitaan kuitenkin lisäksi nostoapuvälineitä, jotka vaikuttavat kokonaispainoon. Kokonaispaino olisi hyvä selvittää mahdollisimman aikaisin ja tarkkaan, jotta työmaalla vältetään kaikilta mahdollisilta ongelmatilanteilta. (WSH Council 2014) Elementin paino määrittää raja-arvot millaista kalustoa ja minkälaisia nostoapuvälineitä työssä voidaan käyttää. Vaihde-elementtien nostoissa on erittäin tärkeää tietää mahdollisimman tarkkaan myös elementin painon jakauma. Tässä kappaleessa selvitetään tutkittavien vaihteiden nostoihin tarvittavat nostovoimat sekä vaihde-elementtien painopisteiden sijainnit. Nämä tiedot ovat myös nostopisteiden oleellisimpia suunnitteluperusteita.

5.2.1 Vaihde-elementin painopiste

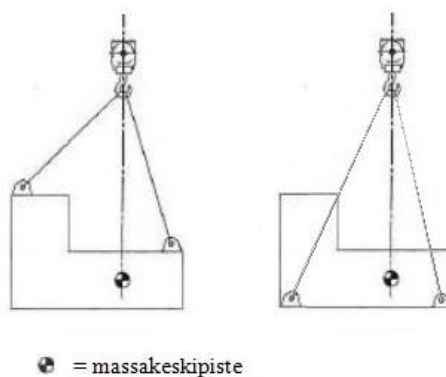
Jokainen vaihde-elementti koostuu useista eri komponenteista ja jokaiselle komponentille voidaan laskea massakeskipiste. Näin ollen myös koko vaihde-elementille voidaan määrittää massakeskipiste. Massakeskipiste on voimaresultanttien paikka eli niin sanottu systeemin painopiste. Painopisteessä kulkee aina kappaleeseen kohdistuvan painovoiman vaikutussuorat kappaleen asennosta riippumatta. Maan läheisyydessä olevilla kappaleilla massakeskipiste ja painopiste ovat samoja, vaikka todellisuudessa ne ovat kaksi eri käsitettä. Tässä tutkimuksessa käytetään termiä painopiste, sillä se on tieteellisesti oikea ja yleisesti työmailla käytössä oleva termi. Elementin painopisteen sijainti on merkittävä tieto, sillä vaihde-elementti pysyy tasapainossa yhdellä nostolaitteella työ-

kenneltäessä vain painopisteestä nostettaessa ja pyrkii aina kääntymään tasapainoasemaan kuvan 35 mukaisesti. (Salmi 2005)



Kuva 35. Painopisteen sijainnin merkitys taakan nostoissa (muokattuna lähteestä WSH Council 2014).

Kuvan 35 mukaisesti nosto-osat tulee aina sijoittaa painopisteen suhteen, ei symmetrisesti vaihde-elementin mittojen suhteen. Kuvasta 35 havaitaan myös, että jos nostoa ei tehdä mahdollisemman suoraan painopisteen yläpuolelta, vaihde-elementti nousee vinoissa. (Betoniteollisuus ry, 2010) Myös ulkomaalainen ohjeistuksen (WSH Council 2014) mukaisesti nostovoiman tulisi kohdistua aina painopisteeseen. Lisäksi epäsymmetrisillä elementeillä nostopisteet tulisi sijoittaa painopisteen yläpuolella. Tällöin nosto on vakaampi eikä heilumisen tai kaatumisen riskiä ole olemassa. (WSH Council 2014) Myös tällä hetkellä voimassa oleva ohjeistus (Liikennevirasto 2007) määrää nostot suoritettavaksi siten, että nostoapuvälineiden alimman nivelen tulee olla pölkyn yläpuolella silloin, kun nostovoima ei kohdistu suoraan ylöspäin. Kuvassa 36 on esitelty nostopisteiden sijaintien erot painopisteen yläpuolella ja alapuolella. Myös nostopisteiden sijainnin määrittämisessä painopisteen vaikutus tulee ottaa huomioon, sillä nostoista täytyy pyrkiä saamaan mahdollisimman vakaita.



Kuva 36. Nostaminen painopisteen alapuolelta (muokattuna lähteestä WSH Council 2014)

Vaihte-elementit koostuvat useista komponenteista ja osista, joten painopisteen määrittäminen koko elementille on hankalaa. Varsinkin kielisovituselementti on erittäin epäsymmetrinen elementti, jossa on paljon komponentteja. Eri vaihteiden elementtien painopisteet on tällä hetkellä saatavilla vaihteen suunnittelijoilta. Painopisteet ilmoitetaan pituussuuntaan ja leveyssuuntaan sekä lisäksi millä pölkylä tai pölkkyvälillä se sijaitsee. Painopisteitä ei kuitenkaan ilmoiteta korkeussuuntaan, mikä on selkeä puute, sillä kuten aiemmin esiteltiin, nosto olisi hyvä suorittaa aina painopisteen yläpuolelta. Käytännössä kuitenkin näin aina tapahtuu, sillä nosto suoritetaan kiskon ympäri ja painopiste sijaitsee korkeussuuntaan pölkyn yläpinnan alapuolella. Kielisovituselementtiä nostettaessa nostopalkin avulla voi kuitenkin olla vaarana, että nosto tehdään painopisteen alapuolelta. (Oksman 2013)

Tietyille kappaleille painopiste voidaan määrittää suoraan symmetrian perusteella, kuten esimerkiksi pallolle. Toisena tapana voidaan pitää kokeellista nostamista ja kappaleen painopisteen etsimistä, mutta painopiste voidaan myös laskea. Useasta komponentista koostuvan systeemin, kuten vaihte-elementin painopisteen määrittäminen tapahtuu siten, että elementti on tasapainossa silloin, kun siihen kohdistettava nostovoima on yhtä suuri kuin sen massan aiheuttama painovoima. Näin ollen voimien momenttien summa on oltava nolla origon suhteen kaavan 2 mukaisesti

$$\sum M_0 = mgz_0 - (m_1gz_1 + m_2gz_2 + \dots + m_ngz_n) = 0, \quad (2)$$

missä

m_n = vaihte-elementin eri kappaleiden osien paino

g = kiihtyvyys eli $9,81 \text{ m/s}^2$

z_n = vaihte-elementin eri kappaleiden sisäisen massakeskipisteen etäisyys origosta. (Salmi 2005)

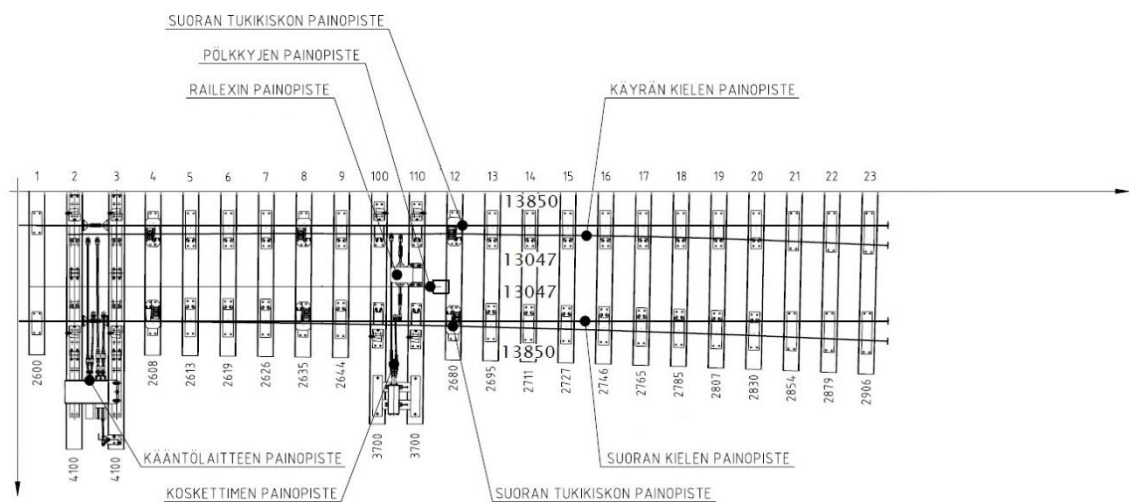
Kaavasta 2 voidaan edelleen johtaa kappaleen painopisteen koordinaatille lauseke. Samalla tavalla voidaan laskea massakeskiöt myös muille koordinaateille.

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_{0i}}{\sum_{i=1}^n m_i}. \quad (3)$$

Koko elementin painopiste voidaan laskea kaavasta 3 laskemalla kaikille koordinaateille massakeskiöt. Yksittäisen komponentin sisäisen massakeskipisteen sijainti on oleellinen tieto, jotta koko elementin painopiste voidaan määrittää. Komponenttien sisäiset painopisteet on saatu VR Track Oy:n laatimista kuvista, kuten esimerkiksi kuvasta 37. Pölkkyjen painopisteet taas on laskettu tässä tutkimuksessa. Lisäksi tulee ottaa huomioon jokaisessa pölkkyssä olevat aluslevyt, joiden määrät elementteittäin vaihtelevat. Aluslevyjen massat on lisätty osaksi pölkkyjen massaa. Laskennan aikana vertailtiin, miten aluslevyjen erillinen tarkastelu ja pölkkyjen mukana tarkastelu eroaa. Lopputulokseksi saatiin, että aluslevyjen massa voidaan lisätä osaksi pölkkyjen massaa. Laskennassa on käytetty kappaleen 3.2 taulukossa 7 esiteltyjä komponenttien massoja.

Ohessa on esimerkkinä x-akselin massakeskiön laskeminen YV60-300-1:9 vaihteen välikiskoelementille. Samalla tavalla voidaan määrittää myös muille tutkittaville vaihteille ja niiden eri elementtien koordinaateille massakeskiöt.

Painopisteen määrittämisen kannalta on oleellista määrittää origolle sopiva paikka, jotta osataan verrata mistä pisteestä painopiste on määritetty. Tässä tutkimuksessa origo on painopisteen laskelmissa merkattu ylemmän tukikiskon kuvan 37 vasempaan päähän ja ensimmäisen pölkyn toiseen päähän kuvan 37 mukaisesti. Nykyisissä määritetyissä painopisteissä on paljon vaihtelua origon paikassa, mikä lisää noston suunnittelun mahdollisuutta virheille sekä vaikeuttaa työmaalla työskentelyä. Määrittämällä origolle tietty paikka pystytään standardoimaan käytäntöjä ja helpottaa painopisteen paikan löytämistä työmaalla.



Kuva 37. *Origon sijainti vaihde-elementeissä painopistettä laskettaessa (Pollari 2015).*

Välikiskoelementti on vaihteen elementeistä yksinkertaisin sillä siinä voidaan nähdä olevan vain pölkkyt, kiskot sekä kiskonkiinnityksen komponentit. Taulukossa 9 on esitetty kaikki tarvittava tieto pölkkyjen painopisteen laskemiseksi. Aluslevyjen massa on siis laskettu osaksi pölkkyjen massaa.

Taulukko 9. Pölkkyjen painopisteen laskenta.

Pölkky	Etäisyys origosta x (m)	Pölkyn massa (kg)	Aluslevyjen massa per pölkky (kg)	Massa yhteensä	m*x
24	0,304	401,8	35,4	437,2	132,9
25	0,904	405,8	35,4	441,2	398,8
26	1,504	409,9	35,4	445,3	669,7
27	2,104	414,3	35,4	449,7	946,1
28	2,704	418,7	35,4	454,1	1227,8
29	3,304	423,3	35,4	458,7	1515,6
30	3,904	428,1	35,4	463,5	1809,6
31	4,504	433,1	35,4	468,5	2109,9
32	5,104	438,1	35,4	473,5	2416,9
33	5,704	443,3	35,4	478,7	2730,7
34	6,304	448,8	35,4	484,2	3052,5
35	6,904	454,4	35,4	489,8	3381,8
36	7,504	460,2	35,4	495,6	3718,9
37	8,104	466,1	35,4	501,5	4063,9
38	8,704	472,1	35,4	507,5	4417,3
39	9,304	478,4	35,4	513,8	4780,4
40	9,904	484,8	35,4	520,2	5152,5
41	10,504	491,4	35,4	526,8	5533,7
42	11,104	498,1	35,4	533,5	5924,3
43	11,708	505,1	35,4	540,5	6328,4
44	12,312	512,1	35,4	547,5	6740,9

Taulukossa 10 vastaavasti on kiskojen massakeskiön laskemiseen tarvittavat tiedot.

Taulukko 10. Kiskojen painopisteiden laskenta.

	L (m)	m (kg)	x0
Tukikisko (ylempi)	12,608	756,48	6,304
Tukikisko (alempi)	12,519	751,14	6,2595
Kielikisko (ylempi)	12,593	755,58	6,2965
Kielikisko (alempi)	12,538	752,28	6,269

Kaavan 3 avulla voidaan laskea koko systeemin painopiste. YV60-300-1:9-vaihteen välikiskoelementin painopisteeksi saadaan näin 6,49 metriä x-suuntaan. Samalla tavalla voidaan laskea myös y-suunnan painopisteen sijainti muuttamalla x-arvot y-arvoihin. Näin ollen y-suunnan painopisteeksi saadaan 1,65 metriä. Kaikkien tutkittavien vaihteiden painopisteet on esitetty taulukossa 11. Taulukossa on vertailtu tämän tutkimuksen aikana laskettuja painopisteiden paikkoja jo ennalta eri aineistoissa esitettyihin vaihteiden painopisteisiin. Tuloksia vertaamalla voidaan todeta, että painopisteiden paikat ovat lähes samoja, lukuun ottamatta vaihteen YV60-300-1:9 risteuselementtiä. Tämän elementin painopiste on tutkimuksen aikana määritetty yhtä pölkkyväliä etäämmälle kuin aiemmin. Jatkossa pitäydytään kuitenkin tämän tutkimuksen tuloksissa. Risteuselementin painopiste ei voi olla aiemmin määritetyssä kohdassa, sillä tässä pisteessä painopisteen toisella puolella on lyhyempiä pölkkyjä vähemmän kuin toisella puolella pitempiä pölkkyjä. Lisäksi risteuksen massiivisempi puoli sijaitsee pääasiassa painopisteen toisella puolella. Painopiste ei siis voi sijaita aiemmin merkatussa pisteessä.

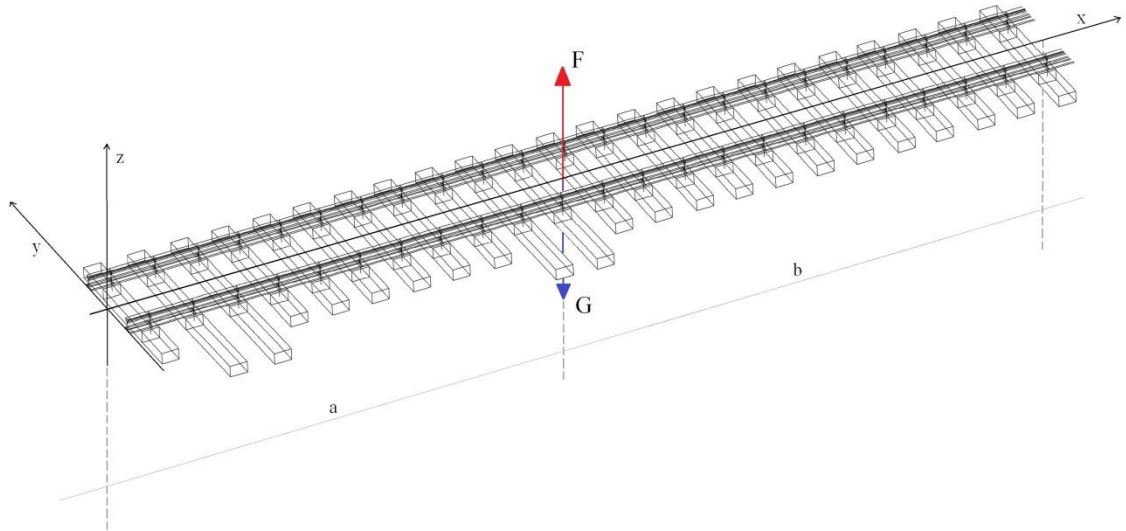
Taulukko 11. Tutkittavien vaihteiden eri elementtien painopisteiden paikat.

	Tutkimuksessa määritetyt painopisteen koordinaatit		Aiemmin määritetyt painopisteiden koordinaatit	
	x_0	y_0	x_0	y_0
YV60-300-1:9				
Kielisovituselementti	6,90	1,51	6,73	1,52
Väliskoelementti	6,49	1,65	6,53	1,58
Risteyselementti	4,06	2,07	3,46	2,05
YV60-500-1:11,1				
Kielisovituselementti	8,75	1,54	–	–
Väliskoelementti	8,04	1,65	–	–
Risteyselementti	6,17	2,18	–	–
YV60-500-1:14				
Kielisovituselementti	8,75	1,54	8,55	1,52
Väliskoelementti	8,04	1,65	8,00	1,62
Risteyselementti	6,13	2,16	6,03	2,06

Vertaamalla määritettyjä painopisteiden paikkoja kuvissa 17, 21 ja 22 esitettyihin pölkkyjen pituuksiin voidaan havaita, että väliskoelementin ja risteyselementin pölkkyjen suuntainen painopiste y_0 sijaitsee suunnilleen elementin poikkileikkauksen puolivälissä. Kielisovituselementissä vastaavasti pitkät asetinpölkkyt siirtävät painopisteen paikan puolivälistä sivuun. Vaihteiden YV60-500-1:11,1 ja YV60-500-1:14 kielisovituselementit ja väliskoelementit ovat täysin samanlaiset. Tästä syystä niiden painopisteiden paikat ovat samat. Tulevaisuudessa myös nostopisteet tulevat näissä elementeissä olemaan samat. Vaihteiden risteyselementit kuitenkin eroavat toisistaan, sillä niiden risteyskulmat ovat erisuuruiset. Käytännössä risteyselementit eroavat siten toisistaan, että vaihteessa YV60-500-1:14 on yksi pölkky vähemmän kuin vaihteessa YV60-500-1:11,1. Tästä syystä myös taulukossa 6 niiden massat ovat erisuuret.

5.2.2 Nostovoima uutta elementtiä nostettaessa

Jokaiselle elementille on määritettävä nostoon tarvittava minimivoima. Tämä saadaan selville elementtiin vaikuttavan gravitaatiovoiman eli painovoiman ansiosta. Painovoima voidaan käsittää pistevoimaksi, jonka vaikutuspisteenä toimii edellisessä kappaleessa määritetyt painopisteet. Nostovoiman tarvittava suuruus määräytyy suoraan sen mukaan, kuinka paljon nostettava elementti painaa, sillä muita merkittäviä kuormituksia ei pelkistetyssä tilanteessa ole. Näitä voimia tulee käyttää myös nostolaitteita valittaessa. Suunnittelussa tulee kuitenkin ottaa huomioon myös kaikkien käytettävien nostoapuvälineiden painot. Pelkän elementin nostoon tarvittava nostovoima voidaan laskea suoraan Newtonin I lain mukaan eli kappale on levossa, kun siihen vaikuttavien voimien summa on nolla. (Salmi 2005) Tarkastellaan seuraavaksi nostotilannetta tutkittavan vaihteen YV60-300-1:9 kielisovituselementistä kuvan 38 mukaisesti.



Kuva 38. Nostossa vaikuttavat voimat (muokattuna lähteestä Manolo et al 2011).

Kuvassa olevasta tilanteesta voidaan määrittää nostovoiman F suuruus painovoiman G avulla. Painovoima G on yhtä suuri kuin kappaleen massa m kerrottuna kiihtyvyydellä, g . Kiihtyvyys g on yhtä suuri kuin $9,81 \text{ m/s}^2$.

Systeemi on tasapainossa, kun

$$\sum F = 0, \quad (4)$$

jossa $\sum F$ on kaikkien voimien resultantti. Toisin sanoen

$$\sum F = F - mg, \quad (5)$$

kuvan 38 mukaisesti.

Sijoittamalla kappaleesta 3.4 tarkastelussa olevan vaihteen massat kaavaan 5 saadaan pelkän kielisovituselementin nostovoimaksi 147 kN, välikiskoelementin 147 kN ja ris-teyselementin 113 kN.

Vaihteita nostettaessa on elementti saatava nousemaan. Vaihde-elementti nousee il-maan, kun nostovoima F on suurempi kuin elementin paino G . (Salmi, 2005) Lisäksi nostoissa on otettava huomioon nostoapuvälineiden käyttö. Kaikki nostoliinat ja nosto-palkit on laskettava mukaan nostovoimaa F määritettäessä. Tästä syystä nostotyöhön tarvittava kokonaisvoima ei ole yhtä suuri kuin F . Jatkossa nostoihin tarvittavaa koko-naisvoimaa merkitään yleisestikin käytetyllä symbolilla V_g . (Työsuojeluhallinto 2010)

Kuvassa 38 esitellään myös tutkimuksessa jatkossa käytettävien akselien suunnat ja suuruudet. Akselit on nimetty sen mukaan, että tarkasteltaessa vaihteen mittakuvaa kak-siulotteisesti x-akseli ja y-akseli ovat normaaleilla paikoillaan ja z-akselilla tuodaan tarkasteluun kolmiulotteisuus. Lisäksi kuvassa esitellään kuinka elementti jaetaan kah-

teen eri puoleen: a-puoleen ja b-puoleen. Jako perustuu aina kyseisen elementin painopisteen paikkaan ja tehdään siitä syystä, että jatkossa vaihteeseen kiinnitettäviä nostoapuvälineitä ja niihin kohdistuvia voimia voidaan eritellysti tarkastella.

5.2.3 Nostovoima vanhoja elementtejä poistettaessa

Eri nostolaitteiden nostokykytaulukoiden ja vaihde-elementin painon perusteella on helppo päätellä onko nostolaitteen ominaisuudet riittävät uusien elementtien nostoille. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, mukaan pitää kuitenkin laskea myös nostoapuvälineiden painot. Koko vaihdetyömaan kannalta tämäkään ei kuitenkaan riitä, jos työhön sisältyy myös vanhojen elementtien poisto radasta. Tarkasteltaessa ainoastaan minkälaisella nostolaitteella uusi elementti saadaan nostettua paikalleen, vanhojen vaihteen elementtien nostot jäävät huomioimatta. Työmaalle varataan yleensä yksi tai useampi nostolaite ja samoilla laitteilla tulee pystyä poistamaan tarvittaessa myös jo radassa oleva vanha vaihde. Myös nykyinen ohjeistus (Liikennevirasto 2007) kehottaa ottamaan huomioon, että elementtejä poistettaessa tukikerroksesta niiden massa ei vastaa ilmoitettuja massoja. Lisäksi ohjeistus kehottaa valitsemaan nostokapasiteetiltaan vähintään 15 % suuremman nostolaitteen kuin suurin taakka epäedullisimmassa asennossa. (Liikennevirasto 2007)

Tämän tutkimuksen yhteydessä vanhan vaihteen poistamiseen tarvittavia nostovoimia tarkasteltiin yhdellä työmaalla kahden vaihteen vaihdon yhteydessä. Työmaalla oli käytössä kuvan 30 raidenosturi ja taulukossa 12 esitelty tulokset on kerätty tämän nostolaitteen mittaamista nostovoimista. Laitteen mittaamisissa tuloksissa on varmasti epätarkkuuksia, mutta voimien keskinäistä vertailua voidaan pitää luotettavampana.

Taulukko 12. *Vaihteen YV54-200N-1:9 poistamiseen radasta tarvittava voima.*

Elementti	Elementin paino (N)	Nostossa tarvittu maksimi voima (N)	Nostoapuvälineiden paino (N)	Nostoon tarvittava voiman lisäys (N)	Tarvittava voiman lisäys (%)
Risteys	46107	62784	6867	16677	36
Välikisko	54936	71613	6867	16677	30
Kieli	58860	62784	6867	3924	7
Risteys	48069	68670	7848	20601	43
Välikisko	58860	75537	8829	16677	28
Kieli	56898	68670	7848	11772	21

Taulukosta 12 voidaan havaita, että suurimmillaan yksittäisen vaihde-elementin irrottamiseen tukikerroksesta tarvittiin 43 % suurempi voima kuin mitä elementin paino oli. Pienimmillään tarvittu nostovoiman lisäys oli vain 7 %. Jätettäessä tarkastelussa suurin ja pienin arvo pois keskimäärin vanhan elementin poistamiseen tarvittiin 29 % enemmän voimaa kuin mitä vaihteen paino oli. Poistettavat vaihteet olivat molemmat puupölkkyisiä YV54-200N-1:9-vaihteita. Puupölkkyt ovat reunoiltaan tasasivuisia, kun taas betonipölkkyissä alareuna on 30 millimetriä leveämpi kuin yläreuna. Tämän johdosta betonipölkkyihin voi kohdistua tukikerroksesta vielä suhteessa suurempi paino kuin

puupölkkyihin, jolloin elementtien irrottamiseen voidaan tarvita vielä suurempi voiman lisäys. Toisaalta tutkitussa tilanteessa tukikerros oli hyvin hienojakoista maa-ainesta, joka saattaa lisätä nostoon kohdistuvaa kitkaa. Tämän vertailun pohjalta voidaan kuitenkin todeta, että työmaalle tulisi valita nostovoimaltaan vähintään 30 % suurempi laite, kuin mitä on painavin uusi vaihde-elementti. Jatkossa vanhan elementin poistamiseen tarvittavaa voiman lisäystä tulisi tutkia, varsinkin tilanteissa, missä vanhaa vaihdetta on tarkoitus kierrättää uuteen paikkaan.

5.3 Nostoapuvälineet

Taakan nostamisessa tarvitaan yleensä aina nostolaitetta ja nostoapuvälineitä. Vaihde-elementtien nostoissa nostoapuvälineet ovat erittäin keskeisessä osassa koko nostotyötä. Nostoapuvälinettä käytetään laitteen ja taakan välissä ja sen avulla taakkaan voidaan tarttua. (Työsuojeluhallinto 2010) Nostoapuvälineissä tulee aina olla kaikki tarpeelliset merkinnät, jotta niiden käytön turvallisuus voidaan taata. Tärkein merkintä on suurinta sallittua kuormaa osoittava WLL (engl. Working Load Limit). (Työsuojeluhallinto 2010) Välinettä, josta tämä merkintä jostain syystä puuttuu, ei saa käyttää. Suurinta sallittua kuormaa ei myöskään saa ylittää. (Suomen säädöskokoelma 2015)

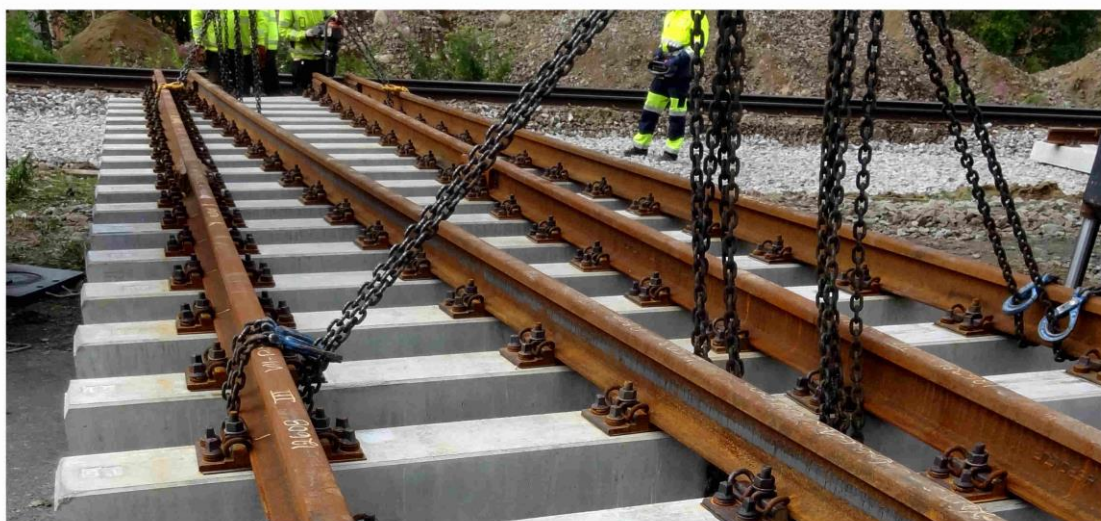
Nostoapuvälineille on aina määritetty varmuuskerroin, jonka avulla varmistetaan, ettei esimerkiksi nostolaitteen kulumisen tai vanhentumisen aiheuttama heikentyminen, nostojen aikaiset nykäykset tai painonarvioinnin epätarkkuudet saa aikaan työturvallisuusriskiä. Varmuuskerroin ei kuitenkaan ole mahdollisuus ylittää suositeltuja nostettavia taakkoja. Vaihde-elementtejä nosteltaessa tulee myös varmistua, että nostoapuvälineiden rakenne on kunnossa. Valtioneuvosto on tehnyt konepäättöksen, jonka mukaan kaikista käytettävistä nostoapuvälineistä tulee löytyä tiedot valmistajasta, raaka-aineesta, suurimmasta sallitusta nostokuormasta sekä CE-merkintä. Lisäksi Valtioneuvosto on päättänyt, että työssä käytettävien nostoapuvälineiden kunto tulisi tarkistaa vuoden välein. (Työsuojeluhallinto 2010)

Nostoapuvälineiden suunnittelussa ja valinnassa tulee ottaa huomioon, että väline on taakkaan, nostolaitteeseen ja käyttöympäristöön sopiva. Toisin sanoen nostoapuvälineiden tulee olla oikean mittaisia, jotta voidaan määrittää turvallinen ja tehokas nostokulma sekä estää ylikuormitus. Painon jakautumisesta eri haaroille tulee varmistua, minkä lisäksi suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että tila nostoille on riittävä sekä on tarkasteltava eri elementtien nostotiheyttä ja sen vaikutusta nostoapuvälineisiin. Nostoapuvälineiden valinnassa tulee myös ottaa huomioon niiden poistaminen. Kun vaihde-elementti on laskettu asennuspaikkaan, nostoapuvälineet tulee pystyä poistamaan turvalisesti ilman, että ne tai vaihde-elementti vahingoittuvat. (Työsuojeluhallinto 2010) Esimerkiksi sellaisten välineiden käyttöä, jotka jäävät täysin elementin alle noston jälkeen, tulee välttää.

5.3.1 Kettinkinostoraksi

Vaihde-elementtien nostoa varten ei elementissä ole olemassa erillisiä nostokoukkuja, jotka olisi asennettu pölkkyyn tai muuhun elementin rakenteeseen. Tavallisesti nostoissa käytetään kettinkisiä nostoapuvälineitä, kuvan 39 mukaisesti. Kettinkinostoraksit voidaan jaotella kahteen luokkaan: hitsattuihin ja hitsaamattomiin. Hitsatuissa kettin-geissä lujuusominaisuudet ovat selkeästi paremmat ja niitä pystytään käyttämään vaativissakin nostotöissä. Yhdysvalloissa (Avalon et al. 2007) on tutkittu ketjujen minimikuormituksia murtoon ja on havaittu, että ketjuja valmistetaan 1000, 800, 700, 430 ja 300 N/mm² vetomurtolujuuksilla. Ketjut myös luokitellaan näiden lukujen perusteella eri luokkiin. Käytännössä suurempiin nostoihin, kuten vaihde-elementin nostoon tulisi käyttää aina minimissään luokan 8 eli 800 N/mm² vetomurtolujuuden omaavia kettinkinostoraksia. Lisäksi eri luokan nostoraksia löytyy erilaisilla kettinki koilla. (Avalon et al. 2007)

Kettinkinostoraksissa tulee aina olla merkittynä suurimmat sallitut nostokuormat eri kuormaustilanteissa merkintälevykkeeseen, joka on kiinnitetty nostoraksiin. Lisäksi aina ennen vaihde-elementin nostoa nostoraksille täytyy tehdä silmämääräisesti tarkastus, jolla arvioidaan sen kuntoa. Kettinkinostoraksien ominaisuuksille on olemassa myös omat standardit (SFS-EN 818-1) ja nostoraksien pitää olla tämän mukaiset. Lisäksi kettinkinostoraksiin tulevien muiden varusteiden täytyy olla yhtä lujia kuin kettinki. (Työsuojeluhallinto 2010)



Kuva 39. Kiristävä nosto kettinkinostorakseilla.

Kettinkinostoraksit viedään yleensä vaihde-elementissä kiskon ympäri. Tällöin nostosta tulee niin sanotusti kiristävä kuvan 39 mukaisesti. Kiristävä nosto tuo mukanaan uusia reunaehtoja nostoapuvälineiden käytölle. Aiemmin puhutusta suurimmasta sallitusta nostokuormasta, WLL, saa tällöin käyttää ainoastaan 80 %, Työsuojeluhallinnon (2010) oppaan mukaisesti. Kiristävässä nostossa tulisi aina huomioida myös nostoraksien mah-

dollinen luistamisvaara taakan ympärillä. Tavallisesti vaihde-elementtien nostoissa ja nostoissa muutenkin käytetään yksinkertaista silmukkaa, mutta yksi hyvä vaihtoehto luistamisvaaran estämiseksi olisi käyttää kaksinkertaista kiristävää silmukkaa. Lisäksi nosteraksi tulisi asettaa sellaiseen kiristyskulmaan, että se olisi nostoapuvälineille mahdollisimman luonnollinen, sillä näin mahdollisen luistamisen aikana vältetään kitkan aiheuttama kuumeneminen. Nosteraksin asettamisessa tartuntaa ei saa yrittää kiristää eikä asettamisessa tule muutenkaan käyttää tarpeetonta voimaa. Kiristävässä nostoissa tulee myös olla tarkkana, että nosterakseja ei aseteta ristiin, sillä tällöin on vaarana taakan ennalta arvaamaton sivuttaisliike, kun elementti irtoaa alustaltaan. Useampihaaraisissa rakseissa tulee kiinnittää ne raksin haarat, joita ei käytetä nostoon, koukun päälentkkiin, jotta koukku ei odottamatta tartu ulkopuoliseen esineeseen ja aiheuta vaaratilannetta. (Työsuojeluhallinto 2010) Nostettaessa elementtiä suoraan nosterakseilla, saatetaan nostohaaraan syntyä vinoa vetorasitusta. Nostettaessa syntyy siis vaakasuuntaisia eli poikittaissuuntaisia ja pitkittäissuuntaisia vaihde-elementtiin kohdistuvia voimia pystysuuntaisten nostavien voimien lisäksi. (Betoniteollisuus 2010)

5.3.2 Teräsnosteraksi

Kettinkisen nosteraksin sijaan nostoissa voidaan käyttää myös teräksestä tehtyjä nostoapuvälineitä. Teräksestä tehdyissä nosterakseissa on yleensä puristusholkilla tai pujonnalla tehty päähän silmukka, mistä se voidaan kiinnittää nostettavaan taakkaan. Päätevarusteena voidaan vaihtoehtoisesti käyttää samanlaisia renkaita ja koukkuja kuin kettinkisten nosteraksien kanssa. Teräsnosteraksi voi olla myös monihaarainen, kuvan 40 mukaisesti.



Kuva 40. Teräksisiä nosterakseja (Työsuojeluhallinto 2012).

Teräksisillä nosteraksilla saadaan halutessa nostoissa kitka nosteraksin ja kiskon välillä pieneksi, sillä kitka kahden teräksen välillä on pieni. (Kerokoski 2015) Tällöin tulee ottaa kuitenkin huomioon nosteraksin mahdollinen luistaminen. Teräksiset nosteraksit

ovat myös herkempiä vaurioitumaan kuin kettinkiset nostoraksit. Niille tuleekin tehdä useasti vähintään silmämääräinen tarkastus missä tarkistetaan mahdolliset katkenneet langat, ruostuminen, syöpyminen, muodonmuutokset, lämpövauriot ja päätevarusteiden vauriot. Teräksisille nostorakseille on olemassa omat kuormitustaulukkonsa, kuten on kettinkisille nostorakseillekin. Jos työmaalla valitaan teräksisten nostoraksien käyttö, tulee kyseenomaisen teräksen kuormitustaulukko tarkistaa aina etukäteen. Teräksisen nostoraksin käytössä tulee ottaa huomioon, että nimelliskuormaan vaikuttavat pääteliitoksen tyyppin, köyden materiaalin ja holkin materiaalin lisäksi myös raksin lämpötila. Teräksinen nostoraksi tulisikin valita aina siten, että nostoraksin sallittu käyttölämpötila on korkeampi kuin nostettavan elementin tai ympäristön lämpötila. Tällä tavalla pystytään välttämään arviointivirheet. (Työsuojeluhallinto 2012)

5.3.3 Tekokuituiset nostoraksit

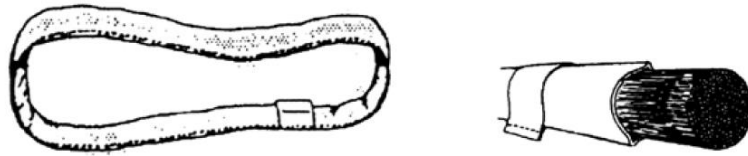
Nostoissa käytetään hyvin yleisesti myös tekokuituisia nostovöitä tai nostorakseja. Esimerkiksi Kaipiaisten vaihdehallissa käytetään tällaisia nostoapuvälineitä, sillä ne ovat kiskolle edullisimpia. Tekokuituisista nostorakseista puuttuvat terävät kulmat ja ne aiheuttavat vähemmän hankausta kiskoon, kuin muut nostoraksit. (Sorsa 2015) Tekokuituiset nostoraksit ovat myös huomattavasti muita nostorakseja kevyempiä ja helppokäyttöisempiä. Näin ne eivät vaadi nostolaitteeltakaan juuri lisäominaisuuksia. Tekokuituisten nostoraksien selkeimpänä heikkoutena voidaan pitää niiden huomattavasti suurempaa riskiä vaurioitumiselle. Työmaaolosuhteissa tulisikin aina tarkkailla niiden kuntoa ja varmistua nostoapuvälineiden vahingoittumattomasta rakenteesta ennen nostoa. (Työsuojeluhallinto 2012)

Tekokuituisia nostorakseja on olemassa pääasiassa päällystettyjä nostorakseja ja nostovöitä. Nämä kaksi nostoapuvälinettä ovat täysin erilaisia ja niiden ominaisuuksia ei tule sotkea keskenään, sillä niiden olennaisin ero on sisäisessä rakenteessa. Vyössä langat kudotaan nauhaksi kuvan 41 mukaisesti.



Kuva 41. Tekokuituinen nostovyö (Työsuojeluhallinto 2012).

Päällysteraksissa kantavat langat ovat vyyhtinä putkimaisen päällysteen sisällä. Tämä nostoraksi on esitelty kuvassa 42.



Kuva 42. Tekokuituinen päällystenostoraksi (Työsuojeluhallinto 2012).

Kaikki tekokuituiset nostoraksit valmistetaan synteettisistä kuitulangoista ja materiaalina käytetään erilaisia tekokuituja. Suomessa yleisin lankamateriaali on polyesteri. Eri materiaalien ominaisuudet eivät yleensä vaikuta siihen, minkä tyyppinen nostoraksi työhön valitaan. Noston suorittavan tahon olisi kuitenkin hyvä tunnistaa eri materiaalien ominaisuuksien erot ja vaikutukset työtä suunniteltaessa. (Työsuojeluhallinto 2012)

5.3.4 Nostopuomi

Nosto on mahdollista tehdä myös nostopuomilla tai nostopuomijärjestelmällä, jolloin nostoraksien ja nostolaitteen väliin asetetaan nostopuomi. Nostopuomeja on olemassa lukuisia erilaisia ja niiden ominaisuudet vaihtelevat kantavuuden, muodon ja pituuden mukaan. Kuvassa 43 on esitelty Kaipiaisten vaihdehallissa käytössä oleva nostopuomi.



Kuva 43. Kaipiaisten vaihdehallilla käytössä oleva nostopuomi.

Nostopuomin avulla saadaan vaihde-elementtiin ja nostoraksiin kohdistuvia rasituksia pienennettyä. Vaihde-elementtien nostoissa nostopuomeilla voidaan myös pienentää korkeussuuntaista työtilaa nostorakseihin verrattuna. Myös nostopuomissa tulee olla nähtävillä merkinnät sen sallitusta kuormasta erilaisissa kuormitustapauksissa, valmista-

jatiedot sekä omapaino. Nostopuomin omapainon merkitys on huomattavasti merkittävämpi kuin nostorakseissa, sillä nostopuomi tuo nostettavaa taakkaa lisää ja vaikuttavaa näin nostolaitteen valintaan. (Työsuojelehallinto 2010)

Nostopuomin käytöllä saadaan suurin hyöty silloin, kun pituussuuntaiset ja poikittais-suuntaiset voimat saadaan poistettua. Toisin sanoen vaihde-elementtiin kohdistuu vain pystysuuntainen voima, toisin kuin pelkkiä nostorakseja käytettäessä.

5.3.5 Nostopalkki

Vaihde-elementtien nostoissa pitkittäissuunnassa käytettävän nostopuomin lisäksi nostoissa käytetään apuna myös poikittäissuuntaan asennettavia nostopalkkeja. Nostettaessa kielisovituselementtiä nostorakseja ei saa koskaan asettaa suoraan kiskon ympäri, sillä kielisovituselementin osat ovat erittäin herkkiä vaurioitumaan. Varsinkin koneistetun tukikiskon, mikä esiteltiin kappaleessa 3.2.1, taivutus on merkittävä kiristävästä nostosta aiheutuva vaurio. (Väisänen 2015) Tästä syystä kielisovituselementin nostoissa käytetään nostopalkkia, joka laitetaan elementin alitse ja nostoapuvälineet kiinnitetään tähän kuvan 44 mukaisesti. Nykyinen ohjeistus (Liikennevirasto 2007) kieltää nostoapuvälineen käytön lisäksi myös vaihteen kielen ympäri. Nostopalkkia käyttämällä poikittais-suuntaiset ja pitkittäissuuntaiset vetorasitukset on mahdollista kohdistaa elementin sijaan nostopalkkiin.



Kuva 44. Nostopalkin käyttö kielisovituselementissä.

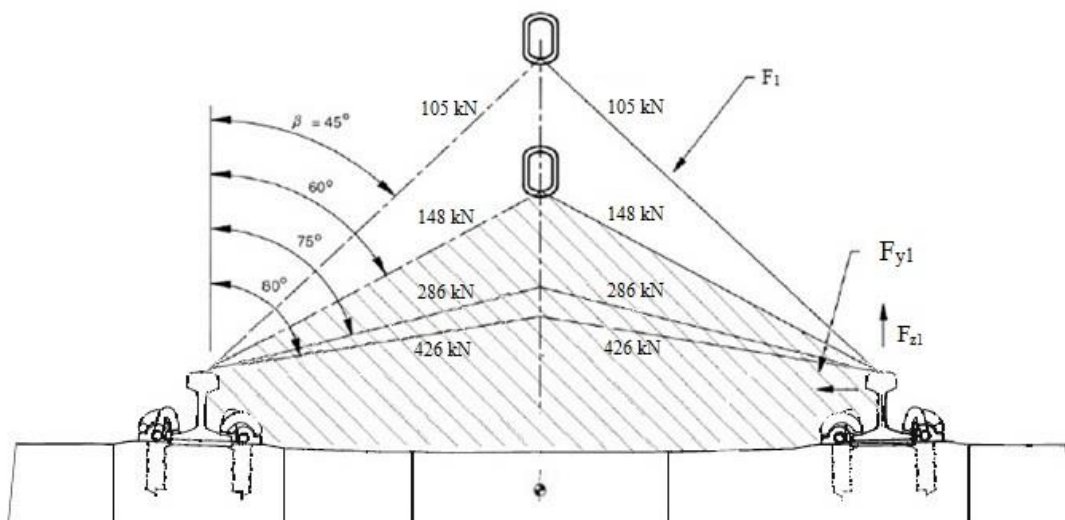
Nykyisen käsittelyohjeen mukaan (Liikennevirasto 2007), jos nostovoima ei kohdistu suoraan ylöspäin tulisi nostoapuvälineen alimman nivelen sijaita pölkyn yläpinnan yläpuolella. Tämän ohjeen toteutumista tulee tarkasti seurata nostopalkkia käytettäessä. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että pölkyn päälle saattaa olla sijoitettuna vaihteen varusteita nostokohdan vieressä, kuten kuvasta 40 voidaan havaita. Tällöin voi olla vaarana näiden komponenttien vaurioituminen noston aikana. (Liikennevirasto 2007)

5.4 Nostoapuvälineiden käytöstä aiheutuvat voimat

Nostoapuvälineiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon kaikki niiden käytöstä elementtiin kohdistuvat voimat ja etenkin eri voimien komponentit. Ideaalitilanteessa elementtiin ei kohdistu kuin pystysuuntaisia voimia, mutta ilman nostopuomia nostoapuvälineistä voi syntyä myös muita voiman komponentteja. Nämä komponentit ovat aina nostojen kannalta turhia, sillä niiden vaikutuksesta elementti ei nouse ilmaan. Toisin sanoen muut kuin pystysuuntaiset voiman komponentit vain lisäävät aina riskiä elementin vaurioitumiselle ja niiden suuruus sekä suunta tulee aina tutkia.

Nostoissa on mahdollista, että nostoapuvälineet asetetaan vinoon kiskon pystysuoraan linjaan verrattuna, kuvan 45 mukaisesti. Tätä kulmaa kutsutaan kaltevuuskulmaksi ja sen symbolina käytetään β . Kaltevuuskulman muodostuessa kiskoon kohdistuu noston aikana aina myös pölkyn suuntaisia voimia. Tässä tutkimuksessa pölkyn suuntaisia voimia kutsutaan poikittaissuuntaisiksi voimiksi ja sen symbolina on F_y . Uusien standardien mukaan nostohaaran ja pystysuoran välinen kulma ei saisi olla suurempi kuin 60° . Kuitenkin, kuten aiemmin todettiin, vaihde-elementtejä nostettaessa kiristävän noston avulla, tähän suositukseen tulee uusi reunaehto. Suositeltavaa olisi, että kiristävässä nostossa käytettäisiin maksimissaan 45° kaltevuuskulmaa ja tätä suuremmista kulmista tulisi tehdä aina erillinen nostosuunnitelma, jossa tutkitaan kulmasta aiheutuvien voimien suuruudet. (Työsuojeluhallinto 2010)

Kuvassa 45 havainnollistetaan symmetrisen noston poikkileikkauksessa syntyviä nostorakseihin kohdistuvia voimia, jos elementti nostettaisiin vain kahdesta kohdasta ilmaan. Kuvassa esitetään kuinka paljon raksin kaltevuuskulma vaikuttaa yhden nostoraksin haaran kuormaan, kun kokonaiskuormana on YV60-300-1:9-vaihteen välikiskoelementin paino. Tämän elementin nostoon tarvitaan vähintään 147 kN voima, kuten aiemmin kappaleessa 5.2.2 todettiin. Nostoapuvälineiden painoa ei oteta tässä esimerkissä huomioon.



Kuva 45. Nostoraksiin kohdistuva voima eri kaltevuuskulmilla (muokattuna lähteistä Liikennevirasto 2002 ja Työsuojeluhallinto 2010).

Kuvaan on varjostettu alue, jossa kaltevuuskulma on yli 60° eli tilanteet, mihin nostorakseja ei saa asettaa. Kuvaan symbolilla F_1 merkitään yhteen nostoraksin haaraan kohdistuvaa kuormitusta. Symbolilla F_{y1} taas merkitään saman voiman poikittaissuuntaista voimakomponenttia. Voiman F_1 pystysuora voimakomponentti on vastaavasti merkattu symbolilla F_{z1} . (Työsuojeluhallinto 2010)

Nostoraksiin kohdistuva voima F_1 voidaan laskea suorakulmaisen kolmion trigonometrian avulla kaavalla

$$F_1 = F_{z1} / \cos \beta , \quad (6)$$

missä F_{z1} on nostoon tarvittava minivoima symmetrisen elementin toisella puolella.

Tarkasteltaessa kuvan 45 mukaista symmetristä tilannetta, F_{z1} on puolet kokonaisnostovoimasta V_g eli noin 74 kN, koska tämän vaihteen välikiskoelementin painopisteen paikka on elementin poikkileikkauksen puolivälissä. (Betoniteollisuus 2010) Tarkastelun perusteella havaitaan, että kaltevuuskulman maksimiarvon asettaminen 60° on hyvin perusteltu toimenpide. Kuvassa 30 ja kaavalla 6 lasketuista kuormituksen arvoista selviää, että yhden haaran kuormitus kasvaa huomattavasti, kun kaltevuuskulma kasvaa ja nostoraksien lujuudelta vaaditaan näin huomattavasti enemmän. Kaltevuuskulman ollessa yli 60° yhteen nostoraksin haaraan vaikuttaa suurempi voima kuin vaihdoelementin aiheuttama kokonaispainovoima. (Työsuojeluhallinto 2010) Myös ulkomainen kirjallisuus (WSH council 2014) kehottaa olla käyttämättä kaltevuuskulmia, jotka aiheuttavat yhteen haaraan suuremman voiman kuin mitä taakka itsessään painaa.

Kuvan tilanteessa pystysuuntainen voima pysyy siis koko ajan samana, sillä nostoon tarvitaan aina yhtä paljon voimaa. Tilanteessa kuitenkin syntyy poikittaissuuntainen voiman komponentti, joka lisää nostoraksiin kohdistuvaa voimaa. Poikittaissuuntaisten voimien suuruudet voidaan laskea myös suorakulmaisen kolmion trigonometrian avulla kaavalla 7. Poikittaissuuntaiselle voimalle saadaan muodostettua näin kaava

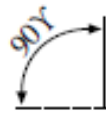
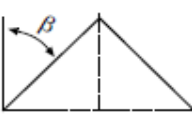
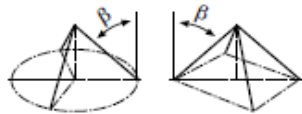
$$F_{y1} = F_{z1} * \tan \beta , \quad (7)$$

missä F_{y1} on yhteen nostoraksin haaraan kohdistuva poikittaissuuntainen voima.

Nostorakseja löytyy kaksiaaraisen lisäksi myös yksihaaraisena, kolmihaaraisena ja nelihaaraisena, jolloin voimat jakautuvat erilailla kuin kuvan 45 tilanteessa. Käytännössä nostoihin voidaan käyttää kaksiaaraisen nostoraksin lisäksi nelihaaraista nostorakssia tai ylipäättään parillisia haarojen määriä. Parittomissa haaroissa yksi raksi on elementin rakenteelle epäedullinen, koska elementtejä tulisi nostaa aina molempien kiskojen ympäri samanaikaisesti, jotta elementti nousee suorassa. (Liikennevirasto 2007) Kaikki nostot tehdään aina elementin samalta poikkileikkauskohdalta molempien kiskojen ympäri. (Väisänen 2015) Monihaaraisten nostoraksien käyttö lisää myös nostopisteiden määrää ja tällaisten tilanteiden käytölle tulisi määrittää aina erilliset nostopisteet. Tässä tutkimuksessa pitäydytään neljässä nostopisteessä ja nostopisteet määritetään tällä tavalla vaihde-elementeille. Monihaaraisen raksin käytössä suurin sallittu nostokuorma (WLL) riippuu haarojen lukumäärästä ja kaltevuuskulmasta sekä muotokertoimesta, joka määräytyy kiinnitystavan mukaan. Useamman haaran käyttö vaikuttaa nostoraksin kuormituksen jakautumiseen yleensä positiivisesti eli sen avulla voidaan nostaa suurempia kuormia. Nelihaaraisella nostoraksilla elementtejä nostettaessa voi kuitenkin suurin osa massasta kohdistua vain kolmeen haaraan tai jopa vain kahteen haaraan, jolloin muut nostoraksin haarat toimivat tasapainottamassa kuormaa. (Työsuojeluhallinto 2010)

Taulukossa 13 on vertailtu, miten haarojen määrä vaikuttaa raksin haarakertoimeen ja kuinka haarakerroin vaikuttaa kettinkinostoraksin nimelliskuormaan silloin, kun nosto on symmetrinen. Taulukossa on luokan 8 eli 800 N/mm^2 vetomurtolujuudella valmistetun kettingin nimelliskuormia eri kettinkikooilla. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että kun nostetaan välikiskoelementtiä ja risteyslementtiä kiristävällä nostolla, kaikista edellä mainituista arvoista saa suunnittelussa käyttää vain 80 %. Myös nämä arvot ovat ilmoitettu taulukossa 13. (Työsuojeluhallinto 2010) Muille aiemmin esitetyille nostoapuvälineille löytyy vastaavat taulukot, jotka on analysoitava erikseen aina nostoa suunniteltaessa. Tavallisesti työmailla kuitenkin käytetään kettinkisiä nostorakseja, mistä johtuen tässäkin tutkimuksessa keskitytään tähän nostoapuvälineeseen.

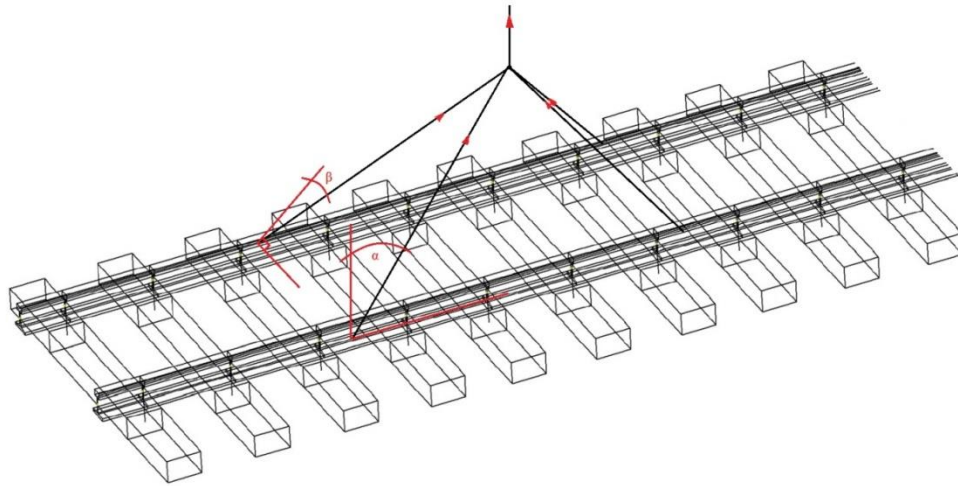
Taulukko 13. Luokan 8 kettinkinostoraksien nostokyvyt (muokattuna lähteestä Työsuojeluhallinto 2010)

	Yksihaarainen raksi		Kaksihaarainen raksi				Kolme- ja neljähaarainen raksi			
	kaltevuuskulma 0°		kaltevuuskulma 0-45°		kaltevuuskulma 45-60°		kaltevuuskulma 0-45°		kaltevuuskulma 45-60°	
										
	Haakeroin = 1		Haakeroin = 1,4		Haakeroin = 1		Haakeroin = 2,1		Haakeroin = 1,5	
kettinki (mm)	suora (kN)	kiristävä (kN)	suora (kN)	kiristävä (kN)	suora (kN)	kiristävä (kN)	suora (kN)	kiristävä (kN)	suora (kN)	kiristävä (kN)
13	52	42	74	59	52	42	110	88	78	63
16	78	63	110	88	78	63	167	133	116	93
18	98	78	137	110	98	78	208	166	147	118
19	110	88	157	126	110	88	232	185	167	133
20	123	98	167	133	123	98	260	208	186	149
22	147	118	208	166	147	118	309	247	220	176
23	157	126	232	185	157	126	348	279	245	196
25	196	157	275	220	196	157	392	314	294	235

Taulukosta voidaan havaita, että nelihaarisella nostoraksilla pystytään saamaan 1,5-kertainen nostokyky kaksihaaraiseen kettinkinostoraksiin verrattuna, kun käytetään 45–60° kaltevuuskulmaa. Lisäksi noston suunnittelussa tulee huomioida, että kahta nostoraksia käytettäessä samanaikaisesti ei yli 45° kaltevuuskulmaa tule käyttää, sillä tällöin toinen raksi saattaa luiskahtaa nostolaitteen koukusta kuormittuessaan epätasaisesti. (Työsuojeluhallinto 2010)

Nostettaessa vaihde-elementtiä useampi kuin kaksihaaraisella nostoraksilla elementtiin kohdistuu yleensä muitakin voimia, kuin vain elementin poikkileikkaustason voimia eli poikittaissuuntaisia voimia. Myös kaksihaaraisella raksilla, kun elementtiä joudutaan siirtämään pituussuunnassa, syntyy voimia kaikkiin suuntiin. Tällaisissa tilanteissa vaihteeseen kohdistuu myös kiskon suuntaisia voimia. Tässä työssä näitä voimia kutsutaan pituussuuntaisiksi voimiksi ja niitä merkitään symbolilla F_x . Pituussuuntaiset voiman komponentit ovat vaihteen vaurioitumisen kannalta erittäin kriittisiä. Vaihde-elementissä pölkkyjen ja kiskojen välinen sijainti tulee säilyä koko noston ajan ja kiskon kiinnitys pitää elementin kasassa koko noston ajan. Pölkkyjen ja kiskon välistä läpivetovastusta ei saa nostojen aikana ylittää, jotta kiskojen ja pölkkyjen välinen sijainti ei muutu. Lisäksi kiristävässä nostossa syntyy kiskoon kohdistuvia puristavia voimia. Näitä vaurioita aiheuttaa juuri nostoissa syntyvä pituussuuntainen voima. (Liikennevirasto 2007)

Voimassa oleva ohjeistus (Liikennevirasto 2002) asettaa kiskonkiinnityksen läpiveto- vastuksen minimiksi 9 kN kappaleen 3.1.3 mukaisesti. Tämä ominaisuus on merkittävä nostoja rajoittava tekijä. Myös nykyinen voimassa oleva ohjeistus (Liikennevirasto 2007) asettaa vaihde-elementin nostoille säännön, jonka mukaan pituussuuntainen voima ei saa poiketa pystysuorasta tasosta yli 35°. Tämän avulla on juuri tarkoitus rajoittaa pituussuuntaisten voimien vaikutusta. (Liikennevirasto 2007) Kuvaan 46 on merkattu kulmana α pystysuorasta poikkeavaa pituussuuntaista kulmaa. Kulman muodostuessa nostojen aikana, syntyy pituussuuntainen voiman komponentti. Kuvasta voidaan myös havaita kaltevuuskulma β , joka käsiteltiin aiemmin.



Kuva 46. Nostosta syntyvät eri voimankomponentit ja niiden kulmat (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011)

Pituussuuntainenkin voima voidaan laskea muiden voiman komponenttien tavoin trigonometrian avulla eli

$$F_{1x} = F_{z1} * \sin \alpha , \quad (8)$$

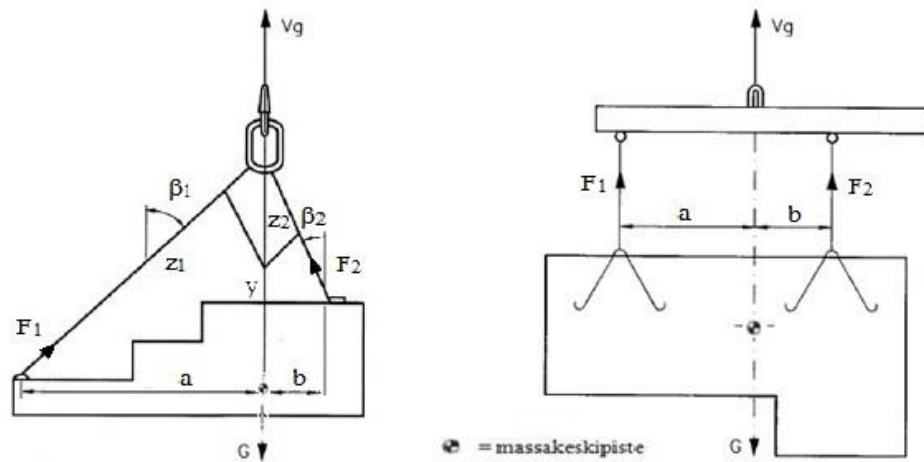
missä F_{1x} on voiman pituussuuntainen komponentti ja F_{z1} pystysuuntainen nostava voima nostoraksissa.

Pituussuuntaisen voiman suuruuteen vaikuttavat siis käytettävien nostoapuvälineiden lisäksi nostoraksiin syntyvän voiman suuruus. Nostoraksin kohdistuvan voiman suuruus taas muodostuu nostettavan elementin painon ja nostopisteiden määräämänä. Pituussuuntaiset voimat ovat nostojen kannalta kaikkein kriittisimpiä ja niiden suuruus tulisi aina tutkia, kun nostopisteet ja nostotapa valitaan. Kaikki tutkittavat voimat on määritetty pystysuuntaisen eli nostavan voiman avulla, sillä tämä voima pystytään selvittämään aina ensimmäisenä nostoja suunniteltaessa. Pystysuuntaisen voiman suuruuteen vaikuttavat nostettavan elementin lisäksi myös käytettävät nostopisteet. Tässä vaiheessa tutkimusta ei pystytä määrittämään voimankomponenttien suuruuksia eri elementtien nostoissa, vaan ensin tulee määrittää nostopisteet.

5.4.1 Epäsymmetrinen nosto

Voimia on tutkittu tähän asti pääasiassa symmetristen nostojen aikana. Tutkimuksessa on aiemmin sivuttu nostovoiman epätasaista jakautumista. Noston symmetrisyydellä tarkoitetaan sitä, että kaikkiin nostoapuvälineiden haaroihin vaikuttaa yhtä suuri nostovoima. Käytännössä kaikilla haaroilla on tällöin samat kulmat α ja β . Jos monihaaraisessa raksissa kuitenkin yksittäiset kaltevuuskulmat ovat erisuuruisia, suurin rasitus kohdistuu siihen haaraan, jonka kaltevuuskulma on pienin kuvan 47 mukaisesti. Tämä johtuu siitä, että haara on tällöin lähimpänä painopisteen pystysuoraa linjaa.

Elementtien kokonaispaino jakautuu epätasaisesti joissakin vaihde-elementeissä. Varsinkin kaikkien tutkittavien vaihteiden kielisovituselementin pitkät asetinpölkkyt jakavat painoa epätasaisesti. Tämä ilmiö voidaan havaita esimerkiksi määritetyistä painopisteiden paikoista eli taulukosta 11. Noston aikana tuleekin varmistua, että vaihde-elementti on tasapainossa ja noston suorittajan hallinnassa kaikissa tilanteissa. Ääritilanteessa on mahdollista, että vain yksi haara voi kantaa koko kuormaa. Tällöin nostoraksi on pystysuora eli molemmat kulmat ovat 0° . (Työsuojeluhallinto 2010)



Kuva 47. Epäsymmetrinen nosto kaksihaaraisella nostoraksilla (muokattuna lähteestä Työsuojeluhallinto 2010 ja Betoniteollisuus 2010)

Epäsymmetrisessä nostossa ilman nostopalkkia nostovoimat F_1 ja F_2 voidaan laskea kulmien tai etäisyyksien avulla. Työmaalla pituuksien avulla laskeminen on kulmiin verrattuna helpompaa, näin ollen voimat voidaan laskea kaavoista

$$F_1 = G * b * z_1 / y * (a + b) \text{ ja} \quad (9)$$

$$F_2 = G * a * z_2 / y * (a + b), \quad (10)$$

missä G on elementin painovoima ja etäisyydet on esitetty kuvassa 47. (WSH Council 2014)

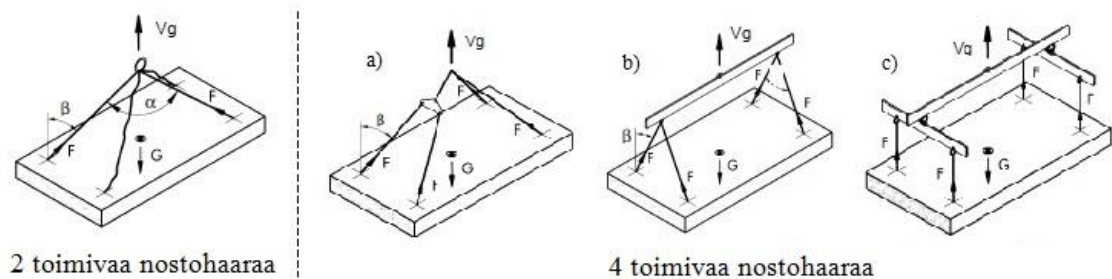
Nostopuomin avulla syntyvät nostoraksien voimat F_1 ja F_2 ovat myös havainnollistettu kuvan 47 tilanteessa. Lisäksi samalla kaavalla pystytään määrittämään myös kaikkien nostojen pystysuoran voimakomponentin suuruus. Nostoraksien voimat voidaan tällöin laskea seuraavista kaavoista

$$F_1 = G * b / (a + b) \text{ ja} \quad (11)$$

$$F_2 = G * a / (a + b), \quad (12)$$

missä G on jälleen elementin aiheuttama painovoima ja muut etäisyydet on esitetty kuvassa 47. (Betoniteollisuus ry, 2010) Kaavoista 11 ja 12 voidaan päätellä, että nostohaarat eivät kannata tasaisesti kuormaa vaan aina se haara, joka sijaitsee lähempänä elementin painopistettä nostaa suuremman taakan kuin toinen. (WSL Council 2014) Nostoapuvälineiden tulisikin sijaita symmetrisesti elementin painopisteeseen nähden. Tällöin kaikkiin nostoraksin haaroihin saadaan samansuuruinen voima. Epätasaiseen jakautumiseen vaikuttavat myös nostopuomin käyttämättä jättäminen, kun nostetaan neljästä tai useammasta pisteestä.

Nostettaessa useampihaaraisella kuin kaksihaaraisella nostoraksilla ilman nostopuomia voi elementin paino kohdistua vain kahteen haaraan, jolloin muut haarat toimivat tasapainottavina haaroina, kuten aiemmin mainittiin. (Betoniteollisuus 2010) Nostopuomin avulla saadaan kuitenkin kaikki neljä nostohaaraa aina toimiviksi kuvan 48 mukaisesti.



Kuva 48. Toimivien nostohaarojen määrä eri nostotavoilla (Semtu Oy 2012)

Kuvan 48 vasemmanpuoleisimmassa tilanteessa nostoapuvälineiden mitoitus palautuu kahden pisteen nostoon. Myös vaihde-elementtiä nostettaessa nelihääräisellä raksilla tulee aina ottaa huomioon, että nostettaessa ilman nostopuomia neljästä kohdasta, nostoapuvälineen mitoitus palautuu kahden pisteen nostoon. (Betoniteollisuus 2010) Tällöin sallittujen kaltevuuskulmien käyttö voi olla mahdotonta ja vaarana on nostoraksien lujuuden riittämättömyys. Useammasta kuin kahdesta pisteestä nostettaessa tulisikin aina käyttää nostopuomia, jolloin nostohaarat voidaan sijoitella symmetrisesti painopisteen suhteen, kuten kuvan 47 muista tilanteista voidaan havaita. Vertailutilanteen ja tilanteen *a* ero on siinä, että väliin asennettava tasapainottava lenkki eli niin kutsuttu kuormantasaaja jakaa epäsymmetrisestä kuormasta johtuvia voimia kaikille haaroille. Tilanteessa *b* on samanlainen nostopuomi kuin kuvassa 29. Tässä tilanteessa nostossa syntyy poikittaissuuntaisia voiman komponentteja, mutta pituussuuntaiset voimat saadaan rajattua pois. Tilanteessa *c* ei synny kuin pystysuuntaisia voimia ja tämä olisikin nostoille kaikkein optimaalisin tilanne.

5.4.2 Nostoapuvälineen mitat

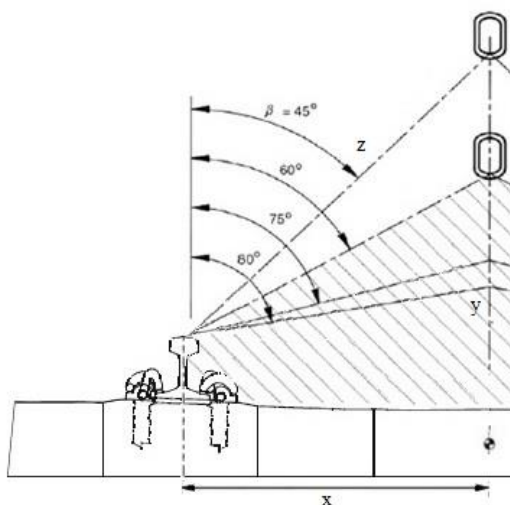
Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella nostoapuvälineiden käyttö osana koko nostotyötä tulee tapahtua nopeasti ja tehokkaasti. Niinpä monesti on vaarana, että kulmia ja raksien mahdollisuutta luistamiselle ei oteta riittävällä varmuudella huomioon. Käytän-

nössä oikeilla nostoapuvälineiden käyttöpituuksilla pystytään saavuttamaan asetettujen vaatimusten mukaiset elementtiin kohdistuvat voimat. Tämä johtuu siitä, että oikeilla nostoapuvälineiden pituuksilla saavutetaan sallitut kulmat α ja β . Yksi hyvä keino liian suurien voiman komponenttien aiheuttamien ongelmien välttämiseksi olisikin laskea jo etukäteen eri vaihde-elementeille optimaalisimmat nostoraksien pituudet. Esimerkiksi nostolaitteen ohjaaja voisi etukäteen merkata kaikille elementeille nostoapuvälineisiin valmiiksi oikeat lenkit. Tällä tavalla työmaalla pystyttäisiin nopeasti aina eri elementteihin kiinnittämään valmiiksi oikeissa pituuksissa olevat nostoraksit. Näin nostotyötä saataisiin turvallisemmaksi sekä työntekijöille että vaihde-elementille. Nostoraksien pituudet voidaan laskea helposti suoraan kaavasta 13 kuvan 49 mukaisesti.

$$z = x / \sin \beta, \quad (13)$$

missä z on nostoraksin pituus kiskon hamarasta nostolaitteeseen, x on nostopisteen etäisyys painopisteestä ja β kaltevuuskulma.

Nostoraksien pituudet voitaisiin jatkossa määrittää esimerkiksi nostosuunnitelmaa laatimassa. Tällöin mitat olisivat työmaalla saatavissa heti töiden alkaessa.



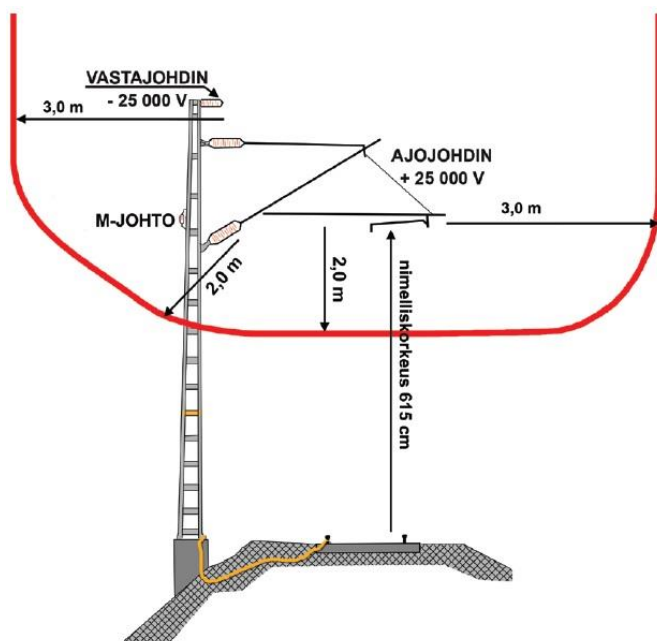
Kuva 49. Nostoraksin pituuden määrittäminen (muokattuna lähteistä Liikennevirasto 2002 ja Työsuojeluhallinto 2010).

Vastaavilla suorakulmaisen kolmion säännöillä voidaan määrittää myös pituussuuntaisten nostoraksien pituudet muuttamalla kulmat ja etäisyydet halutunlaiseksi. Nostoraksin pituuden laskemiseen ei siis tarvita työmaalla muuta tietoa kuin nostopisteiden ja painopisteen sijainnit, jotka nykyisellä toimintamallilla ovat molemmat merkattu valmiiksi vaihde-elementtiin.

Vaikka nostoraksien voimia voidaan vähentää säätämällä nostoraksien kulmia pienemmiksi, pidentää se vastavuoroisesti elementin ja nostolaitteen välistä etäisyyttä. Jos vaihde vaihdetaan sähköistetyllä radalla, vaadittuja nostokorkeuksia ja nostoapuvälineen

ominaisuuksia täytyy tutkia tarkoin, että vältetään mahdollisilta turvallisuusriskeiltä. Vaihteen vaihtotyö tehdään yleensä jännitekatkon aikana, mutta ajolankoja ei vaihtoa varten pureta. (Väisänen 2015) Voimien rajoittamisen yhtenä raja-arvona onkin virratomien sähkölankojen rajaama työskentelytila. Tähän työskentelytilaan viitattiin jo aiemmin kappaleessa 4. Eri nostolaitteiden fyysiset ominaisuudet käyttävät työskentelytilasta oman osansa ja tästä syystä sekä nostolaitteen että noston suunnittelua tulee tehdä samanaikaisesti.

Pienin sallittu ajolankojen korkeus rataverkolla on 5600 mm ja suurin sallittu 6600 mm. Rataverkolla pyritään asettamaan ajolangat nimelliskorkeuteen, mikä on 6150 mm. Tätä korkeutta käytetään myös tässä työssä nostojen suurimpana mahdollisena työtilana. Jokaisella vaihdetyömaalla tulisi kuitenkin aina erikseen selvittää, mikä on ajolankojen korkeus. Ajolankojen osalta tulee myös ottaa huomioon, että sähköpylvään kohdalla lanka on korkeammalla kuin pylväiden välissä lankojen riippumisesta johtuen. (Liikennevirasto 2013d) Kuvassa 50 on ajolankojen pääosat ja ratatyön suojaulottuma, jos lan-goissa on virta. Kuvaan on myös merkattu ajolankojen nimelliskorkeus.



Kuva 50. Sallitut työtilat sähköistetyllä radalla (Liikennevirasto 2013d)

Kuvan 50 mukaisesti vaihde voitaisiin vaihtaa myös ilman jännitekatkoa 4150 mm työtilassa. Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella on kuitenkin lähes välttämätöntä tehdä vaihteen vaihto jännitekatkon aikana, sillä jännitteessä on merkittävä työturvallisuusriski ja 4150 mm työtila ei yleensä riitä vaihde-elementtien käsittelyyn.

5.5 Nosto kuljetusyksikköön

Yksittäisen vaihde-elementin elinkaaren ensimmäinen nosto tapahtuu vaihdehallissa, missä se nostetaan kuljetusvälineeseen. Vaihde kootaan ulkotiloissa tai sisätiloissa riip-

puen vaihteesta ja vapaana olevasta tilasta, josta se voidaan nostaa kuljetusvälineeseen esimerkiksi kuvan 51 hallinosturilla.



Kuva 51. Vaihteen YV60-900-1:18 kielisovituselementin nosto Pieksämäen vaihdehallissa.

Vaihde-elementtiin on etukäteen merkattu nostopisteet. Kaikki vaihde-elementtien nostopisteet on laadittu nimenomaan vaihdehallien nostoja varten ja näiden nostureiden ominaisuuksille. Näin ollen vaihdetta nostettaessa työmaalla samoja nostopisteitä tulisi käyttää vain tilanteissa, joissa nosto tapahtuu samanlaisella nostotavalla. (Pulliainen 2015) Tästä johtuen myös nostopisteiden suunnittelun vastuuta tulisi tarkastella uudelleen.

Vaihdehalleissa nosto tehdään nostopuomilla tai todella pitkillä nistoraksien pituuksilla, jolloin pystytään välttämään suuret vaihteeseen kohdistuvat voiman komponentit. Nostopuomien pituutta pystytään lisäksi myös säätämään sen mukaan, mikä vaihde-elementti nostetaan, jolloin pystytään luomaan aina elementin kannalta optimaalisin nostotilanne. Tarvittaessa voidaan käyttää kahta nostolaitetta synkronoidusti.

Lisäksi Kaipiaisten vaihdehalleilla pyritään tekemään nosto käyttämällä nostoliinoja kettinkinostoraksien sijaan. Tällöin nosto on edullisempi kiskolle eikä siihen synny nostosta aiheutuvia vaurioita, jotka saattavat ajan kuluessa aiheuttaa pysyvää haittaa jopa koko vaihteen rakenteeseen. (Sorsa 2015)

5.6 Kuljetuksen suunnittelu

Vaihteen kokoamisen jälkeen kaikki kolme elementtiä täytyy kuljettaa asennuspaikalle. Kuljetus voidaan suorittaa joko rautateitse tai maanteitse. Tällä hetkellä ylivoimaisesti suosituin tapa on käyttää kuljetuksessa autoa. Karkeasti arvioituna 80 % kuljetuksista hoidetaan maanteitse. (Viitala 2015) Maantiekuljetuksien vahvuus verrattuna rautatiekuljetuksiin on sen nopeus ja joustavuus. Tässä tutkimuksessa keskitytään vaihde-elementtien nostoihin, mutta jo kuljetuksen suunnittelulla pystytään vaikuttamaan myös onnistuneeseen ja tehokkaaseen nostotyöhön. Tutkimuksessa on pyritty selvittämään merkittävimmät kuljetuksen suunnittelussa huomioon otettavat tekijät, mitkä vaikuttavat onnistuneeseen nostoon. Tutkimuksessa ei kuitenkaan käsitellä yksityiskohtaisesti eri kuljetustapoja tai kuljetusvälineitä.

Maanteitse saapuvat kuljetukset ovat aina erikoiskuljetuksia ja vaativat erityisen hyvää suunnittelua, jotta vaihteet saapuvat työmaalle nostojen kannalta optimaalisimpana ajankohtana. Kuvassa 52 on vaihteen YV60-900-1:18 elementin saapuminen työmaalle.



Kuva 52. Vaihde-elementin kuljetuksen saapuminen työmaalle.

Kuvasta 52 voidaan havaita, että työskentelytilat ovat erittäin pienet, jolloin vaihteen ylimääräiseen kääntelyyn ei ole tilaa. Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella yksi merkittävin ja käytännössä itsestään selvin asia onkin, että vaihteen saapuessa työmaalle se on oikeinpäin. Toisin sanoen vaihteen kätisyys ja sijainti radassa on jo etukäteen otettu huomioon. Tehokkaimmin tämä pystytään ottamaan huomioon mietittäessä vaihteen työmaalle saapumisreittiä ja saapumissuuntaa. Työmailla vaihteen pyörittäminen nostolaitteella on käytännössä mahdotonta, erittäin aikaa vievää ja siitä saattaa aiheutua epä-

suotuisia kuormituksia vaihde-elementeille. Tästä syystä asia tulisi ehdottomasti huomioida kuljetuksen suunnittelussa. Varsinkin maantiekuljetukset pyritään tekemään siten, että pitkät asetinpölkkyt olisivat kuljetuksen ajan pientareen puolella. Tällöin auton saapuessa työmaalle vaihde-elementti voi olla väärin päin.

Maanteitse tapahtuvan kuljetuksen saapuessa työmaalle tulee myös varmistua, että auton ja elementtien asennuspaikan välinen etäisyys on suunniteltu nostolaitteen ominaisuuksien mukaisesti. Huolimattomasti suunnitellut kuormauspaikat voivat aiheuttaa elementtien välivarastointitarpeen, mikä taas aiheuttaa lisää nostovaihteita.

Vaihteita kuljetetaan rautateitse vaihteenkuljetusvaunujen avulla. Nämä vaunut on suunniteltu täysin vaihteenkuljettamista varten. Vaihteenkuljetusvaunua kutsutaan nimellä BOV-vaunu. VR Track Oy on laatinut sen kuormaamiselle omat ohjeet, joita käytössä tulee noudattaa. Kaikkien ohjeiden noudattaminen on erittäin tärkeää, sillä käännettäessä elementtejä vaakatasoon vaihteisiin ei saa kohdistua ylimääräisiä voimia tai rasituksia. Kuljetusvaunusta vaihde-elementti voidaan nostaa vasta siinä vaiheessa kun kuormaustaso on käännetty vaakatasoon. (Ratahallintokeskus 1999) Kuvassa 53 vaihde-elementti on kuormattuna kuljetusvaunuun.



Kuva 53. *Vaihde-elementin kuljetusvaunu, BOV-vaunu, kuormattuna Pieksämäen vaihdehallissa.*

Kuten kuvasta voidaan havaita, kuljetuksen ajaksi vaunu kallistetaan. Kallistus tehdään sen vuoksi, että vaihteen pisin pölkky mahtuu liikkuvan kaluston aukean tilan ulottuman sisällä. Vaihde-elementit kuitenkin puretaan ja kuormataan aina vaunun ollessa vaakatasossa. Tässä työssä tutkittavia vaihteita kuljetetaan maanteitse vaakatasossa, mutta jos maantiekuljetus tehdään jonkin elementin ollessa kallistettuna, tulee elementtien nostamiseen kiinnittää tällöin erityistä huomiota työmaalla.

Myös rautateitse tehtävän kuljetuksen suunnittelussa tulee huomioida sen saapuminen työmaalle, jotta elementti voidaan nostaa suoraan rataa. Suurimmat hyödyt vaihteen kuljetusvaunun käytöstä saadaan silloin, kun vaihde pitää kuljettaa lähelle kaupunkien taajamia tai suurille ratapihoille. Tällöin sen kääntelylle ei välttämättä ole tilaa, jos vierisillä raiteilla liikennöinti jatkuu normaalina. (Väisänen 2015)

5.7 Nosto asennuspaikkaan

Vaihde-elementin elinkaaren seuraava nosto tapahtuu työmaalla vaihteen asennuspaikassa. Nosto voidaan tehdä joko yhdellä tai useammalla nostolaitteella samanaikaisesti. Tässä kappaleessa tutkitaan mahdollisia nostotapoja, joita työmaalla voidaan käyttää. Tutkimuksessa keskitytään nostoihin neljästä nostopisteestä. Useamman kuin neljän nostopisteen käyttö olisi vaihteelle edullisempi, mutta tässä tutkimuksessa olevia vaihteita pystytään nostamaan neljästä pisteestä ja juuri näitä nostoja on tarkoitus tutkia. Vaihteiden vaihto sähköistetyllä radalla luo merkittävän raja-arvon nostoille, joten nostoapuvälineiden valinta tulee pitää mahdollisimman yksinkertaisena. Valittu nostotapa vaikuttaa elementtiin kohdistuviin voimiin eri tavoin ja tulee jatkossa vaikuttamaan myös käytössä oleviin nostopisteisiin.

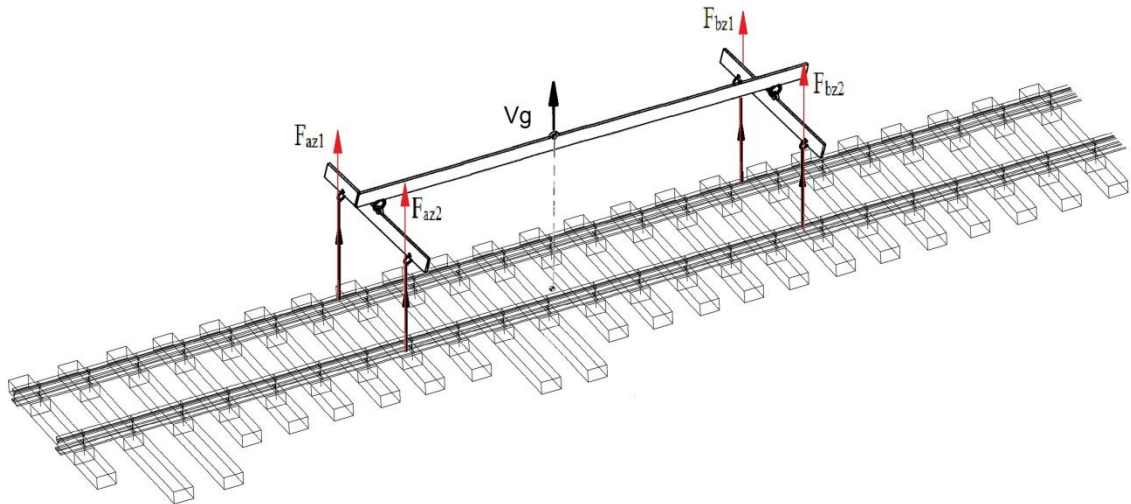
Nostoapuvälineoppaan (Työsuojeluhallinto 2010) mukaan nostoille olisi aina tehtävä alunosto, jossa nosto pysäytetään, kun elementti on irronnut alustaltaan ja tarkastetaan raksien kiinnitys ja elementin tasapaino. (Työsuojeluhallinto 2010) Toisaalta taas vaihdetöiden yleisissä laatuvaatimuksissa (Ratahallintokeskus 1999) sanotaan, että vaihdelementtejä ei saisi riiputtaa. Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella on perusteltua pysäyttää nosto hetkeksi ja silmämääräisesti tarkastaa, että elementti on tukevasti kiinnitetty ja tasapainossa ennen kuin vaihde-elementin siirtäminen pitemmälle alkaa. Noston siirron jälkeen kiinnityksiä ei enää pysty korjaamaan. Lisäksi tällä tavalla voidaan varmistua, että nosto tehdään varmasti painopisteen yläpuolelta.

5.7.1 Nosto yhdellä nostolaitteella

Vaihde-elementtiä nostettaessa yhdellä laitteella nostot ovat aina vähintään nelipistenostoja. Neljästä pisteestä nostettaessa tulee olla erityisen huolellinen nostoapuvälineiden kiinnityksestä ja ketjujen kiertämättömyydestä. Nostotyötä tulee myös tarkkailla koko ajan. Tärkeää on varmistaa, että elementin paino jakautuisi mahdollisimman tasaisesti kaikille nostorakseille. (Heiska et al. 2007)

Yhdellä nostolaitteella vaihde-elementtiä nostettaessa työ on oikein tehtynä elementin rakenteelle edullisempi kuin kahdella nostolaitteella, sillä kahden laitteen yhdessä toimimisessa on aina omat riskinsä. Vaarana yhdellä nostolaitteella työskenneltäessä on kuitenkin puutteellinen nostoapuvälineiden käyttö. Vaihde-elementtien nostotavoista optimaalisin olisi kuvan 54 mukainen tilanne, jossa syntyisi vain pystysuoria nostavia voimia. Tällainen tilanne voidaan luoda käyttämällä nostopuomia noston apuna. Käy-

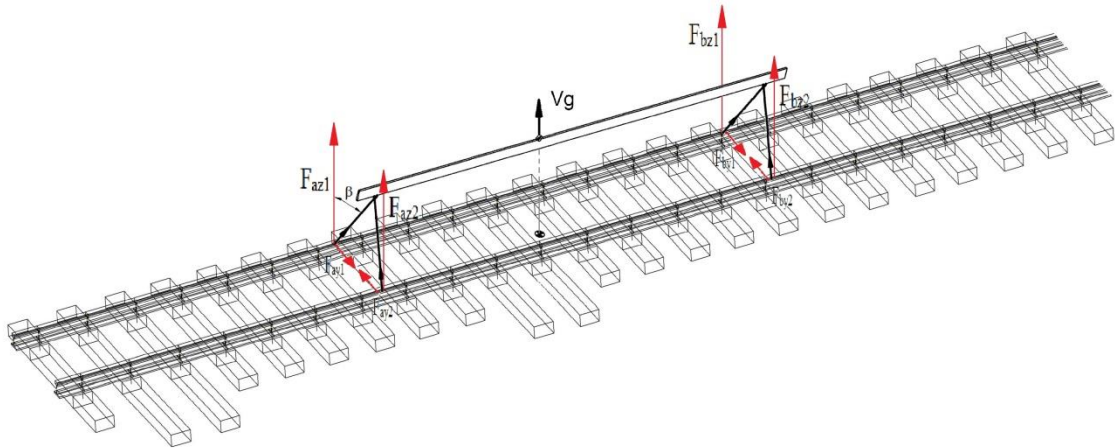
tännössä puomeja ja nostopuomisysteemejä on lukuisia erilaisia. Ratatyömaalla kannattaa kuitenkin käyttää mahdollisimman yksinkertaisia nostotapoja, sillä tällä tavalla nostopuvälineet tuovat nostoon mukanaan mahdollisimman vähän lisää painoa, eivätkä ne rajaa nostojen käytössä olevaa työtilaa liikaa.



Kuva 54. Nostotapa, jossa syntyy vain pystysuuntaisilla voimia (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011 ja Semptu Oy 2012)

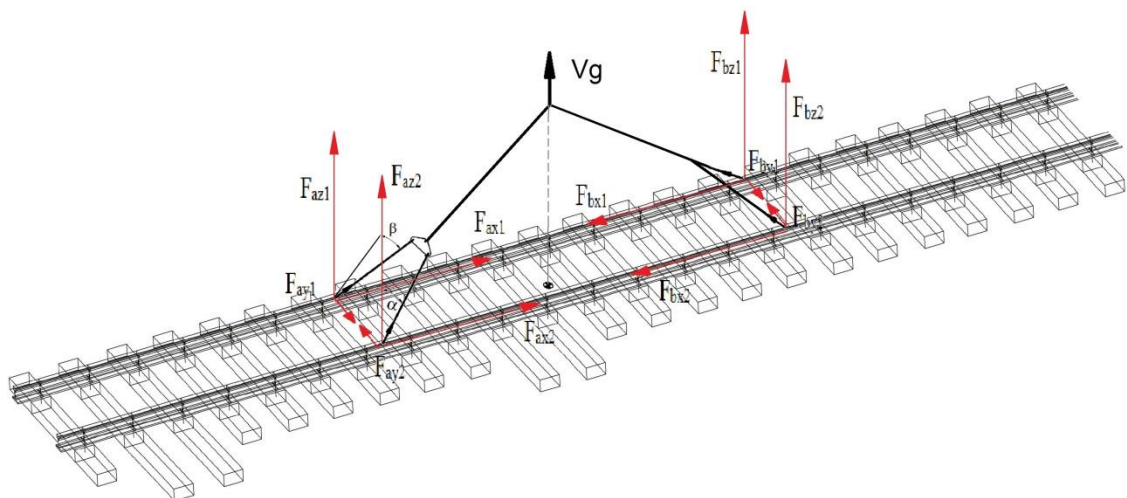
Kuvasta 54 voidaan havaita, että jokaisesta vaihde-elementtiin kiinnitetystä kohdasta aiheutuu vaihde-elementtiin vain pystysuuntaisia nostavia voimia. Nämä voimat on nimetty kuvaan sen mukaan, mihin kohtaan vaihde-elementtiä ne vaikuttavat. Koordinaatit määriteltiin jo aiemmin, minkä lisäksi vaihde-elementti on jaettu siten, että painopisteestä katsoen se puoli, missä on järjestysnumeroltaan pienemmät pölkyt on a-puoli. Painopisteestä katsoen taas puoli, missä on järjestysnumeroltaan suuremmat pölkyt on b-puoli. Tämä jako esiteltiin jo kuvassa 38. Jokainen syntyvä voima nimetään erikseen sen takia, että jatkossa kun suunnitellaan elementin nostopisteitä, voidaan erikseen tarkastella kuinka suuria voimia eri nostopisteiden käytöstä vaihde-elementtiin kohdistuu.

Kuten aiemmin mainittiin, voidaan työmaalla teoriassa käyttää hyvin monenlaisia nostopuomeja tai nostopuomisysteemejä. Ratatyömaalla tulisi kuitenkin käyttää mahdollisimman yksinkertaisia ratkaisuja, jolloin nostopuomisysteemejä voidaan pelkistetysti nähdä olevan kahta erilaista. Puomit on jaoteltu tässä tutkimuksessa sen mukaan, miten niiden käytön myötä syntyy erilaisia vaihde-elementtiin kohdistuvia voimankomponentteja. Kuvassa 55 on esitelty toisentyppinen nostopuomi verrattuna kuvaan 54. Tämän puomin avulla pystytään rajoittamaan elementin pituussuuntaiset voimat kokonaan pois. Näin pystytään välttämään eniten vauriota aikaansaavat voiman komponentit, mutta tilanteessa syntyy kuitenkin elementin poikittaissuuntaisia voimia. Voimien nimeämistä jatketaan samalla tavalla kuin aiemmin työssä. Poikittaissuuntaiset voimat ovat nimetty symboleilla F_{ax1} , F_{ax2} , F_{bx1} tai F_{bx2} riippuen siitä, kummalla puolella painopistettä voima sijaitsee.



Kuva 55. Nostotapa, jossa syntyy pystysuuntaisten voimien lisäksi myös poikittaisuuntaisia voimia (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011 ja Semtu Oy 2012).

Kolmas nostotapa on käyttää kuvassa 48 esitelty kuormantasaajaa, joka aiheuttaa nostavien pystysuuntaisten voimien lisäksi kaikkia muitakin voimankomponentteja. Kuormantasaajien tehtävä on jakaa nostava voima V_g kaikille nostoraksin haaroille. Kuvassa 56 on esitelty tällainen nostotapa. Tässä nostotilanteessa kuormantasaajat voisivat olla lähes nostovoiman V_g kohdalla, jolloin kaltevuuskulmat saadaan mahdollisimman pieniksi.

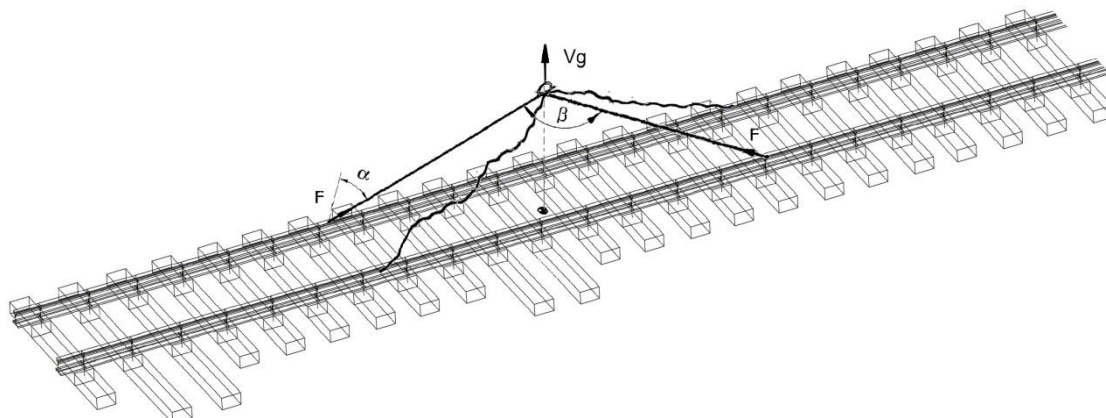


Kuva 56. Nostotapa, jossa nostosta aiheutuu pystysuuntaisen nostavan voiman lisäksi muitakin voiman komponentteja (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011 ja Semtu Oy 2012).

Tätä nostotapaa käytettäessä tulee nostoraksien haarat asettaa sellaisiin kulmiin, että voimista ei aiheudu elementille vaurioita.

Lisäksi nosto yhdellä nostolaitteella voidaan tehdä teoriassa myös tavalla, missä nostoapuvälineet kiinnitetään suoraan nostolaitteeseen. Jos kiinnitys tehdään siten, että kuorma ei pääse tasaantumaan nostoapuvälineiden välillä, on mahdollista, että kuorma kohdistuu vain kahdelle nostoraksin haaralle. Kuten aiemmin kerrottiin, ilman nostopalkkia

nelihaaraisen nostoraksin käyttö palautuukin kahden haaran suunnitteluun. Kuvassa 57 on esitelty tällainen tilanne.



Kuva 57. Nelihaarainen nosto, missä vain kaksi nostoraksin haaraa kantaa kuorman (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011 ja Semtu Oy 2012).

Kuvasta 57 nähdään, että toimiviksi nostohaaroiksi voidaan laskea vain kaksi vastakaista nostohaaraa. (Betoniteollisuus 2010) Vaihde-elementtejä ei siis tulisi koskaan nostaa yhdellä laitteella ilman jonkinlaista menetelmää millä voimia pystytään tasamaan. Myös nykyinen ohjeistus (Ratahallintokeskus 1999) määrää, että elementit tulee aina nostaa käyttämällä nostopalkkia, joka on suunniteltu nostoa varten. (Ratahallintokeskus 1999)

Nostotapoja vertaamalla voidaan havaita, että nostoissa syntyy aina pystysuuntainen voima, joka on nostava voima. Kaikki muut noston aikana syntyvät voimankomponentit ovat nostojen kannalta turhia ja niistä aiheutuu aina ylimääräisiä rasituksia vaihde-elementille. Juuri nämä ovat myös voimat, joita tulee jatkossa tutkia nostoa suunniteltaessa ja nostopisteitä valittaessa. Eri nostotavoista kaikkein optimaalisimpana voidaan pitää sellaista nostotapaa, missä syntyy vain pystysuuntaisia voimia. Yksi esimerkki tällaisesta nostotavasta on esitelty kuvassa 54. Tällä tavalla myös etäisyydet noston aikana saadaan minimoitua. Toisaalta kuvan 54 nostotavalla työskenneltäessä nostolaitteelta vaaditaan eniten nostokykyä, sillä nostopuomi tuo merkittävästi lisäpainoa. Tässä kappaleessa esitellyt nostotavat ovat vain esimerkkejä ja nostoa suunniteltaessa tulisi valittavasta nostotavasta tutkia aina, mitä kaikkia voiman eri suuntaisia komponentteja siitä vaihde-elementille aiheutuu.

5.7.2 Nosto kahdella tai useammalla nostolaitteella

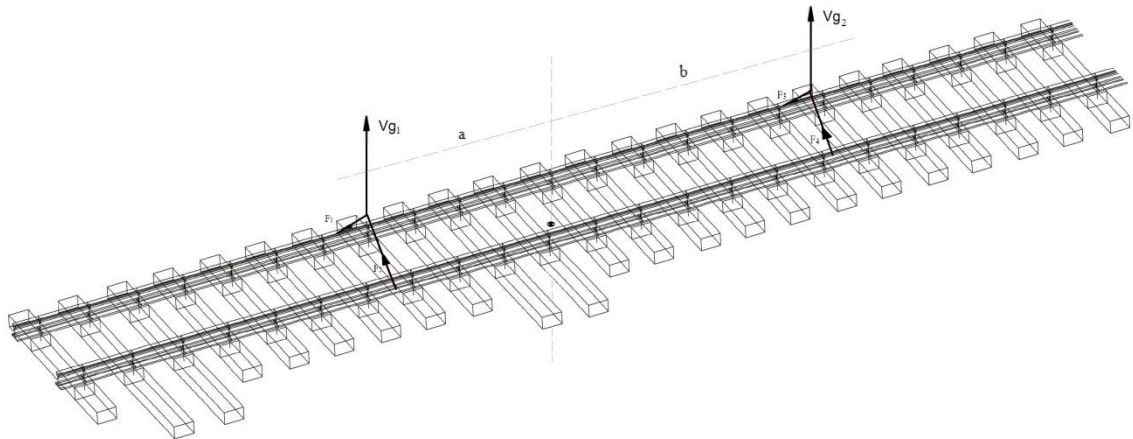
Jos oikeanlaista nostolaitetta vaihde-elementin nostamiseen ei löydy yhtenä vaihtoehtona voi olla nostaa elementti paikalleen kahdella tai useammalla eri nostolaitteella. Usea-

ta nostolaitetta samanaikaisesti käytettäessä nostoja pidetään yleensä kriittisempinä ja erittäin vaikeina. Käytännössä tämä johtuu juuri siitä, että nosto pitää yleensä suorittaa samanaikaisesti kahden eri koneen käyttäjän työnä. Monet ohjeistukset kuten Heiska et al. (2007) ja WSH Council (2014) kehottavatkin välttämään useammalla nostolaitteella tehtävää nostotyötä. Jos kahden nostolaitteen käyttöön päädytään, molempien laitteiden tulisi olla mahdollisimman saman tehoisia sekä samansuuruisia. Lisäksi olisi huolehdittava, että kummankaan nostolaitteen nostokapasiteetti ei ylitä. Lisäksi nostonopeuden tulee olla samansuuruinen, jotta välttyään vaaratilanteilta. (Heiska et al. 2007)

Kahdella laitteella toteutettavan noston suunnittelua vaikeuttaa se, että elementtien epä-tasaisen painon jakauman vuoksi nosto on yleensä epäsymmetrinen. Näissä tilanteissa tulee huomioda, että toiseen nostolaitteeseen kohdistuu suurempi nostovoima kuin toiseen. Itse nosto suoritetaan ohjeistuksen mukaisesti samalla tavalla kuin yhdellä nostolaitteella työskenneltäessä. Nostopisteet on määritetty jokaiseen elementtiin ja niistä tulee yhä nostaa yhtäaikaaisesti tasaisella voimalla. (Liikennevirasto 2007) Kahdella nostolaitteella työskenneltäessä ero on siis siinä, että nyt kokonaisvoima määräytyy kahdesta eri nostovoimasta kaavan 14 mukaisesti.

$$V_g = V_{g1} + V_{g2} , \quad (14)$$

missä V_g on nostoon tarvittava kokonaisvoima. Vastaavasti V_{g1} ja V_{g2} taas ovat eri nostolaitteille aiheutuvat kuormitukset, kuvan 58 mukaisesti.



Kuva 58. Nosto kahdella nostolaitteella (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011).

Kuvasta voidaan havaita, että etäisyydet elementin painopisteestä nostolaitteisiin eivät välttämättä ole yhtä suuret. Tilanne on siis käytännössä samanlainen kuin yhdellä nostolaitteella nostopuomin avulla nostettaessa eli kuvan 58 tilanteessa V_{g1} tulee olemaan suurempi kuin V_{g2} . Eri nostolaitteisiin kohdistuvat voimat voidaan laskea myös kaavoilla 11 ja 12 muuttamalla tilanteeseen voimat F_1 ja F_2 kaavan 14 mukaiset symbolit V_{g1} ja V_{g2} .

Työmaalla tehtyjen havaintojen ja käytyjen keskustelujen perusteella usean nostolaitteen käyttö vaatii saumatonta yhteistyötä koneen käyttäjiltä, jotta vaihde-elementti saadaan asetettua lopulliseen asennuspaikkaansa. Asennuksessa toleranssit ovat hyvin pieniä, joten useiden nostolaitteiden käytöstä olisi aina hyvä laatia erillinen nostosuunnitelma, jossa suunniteltaisiin miten laitteiden välinen yhteistyö toteutetaan. Tehtyjen havaintojen perusteella myös kauko-ohjaimen käyttö nostureita ohjattaessa on merkittävästi työtä helpottava väline. Tällöin koneiden ohjaajat ja mittamies voivat keskustella yhdessä ja näin nostosta saadaan mahdollisemman kuormittamattoman elementille. Useamman kuin kahden nostolaitteen käyttö on työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella erittäin hankalaa, sillä muutamien senttimetrien siirtely on lähes mahdotonta usean nostolaitteen ja henkilön osallistuessa työhön. Tehtyjen havaintojen perusteella useampaa kuin kahta nostolaitetta ei tulisi käyttää.

6. NOSTOPISTEIDEN MÄÄRITYS

Tämän tutkimuksen yksi keskeinen tavoite on määrittää tutkittaville vaihteille nostopisteet. Optimaalisia nostopisteitä on aikaisemmin määritetty muutamien vaihteiden elementeille. Tällä hetkellä voimassa oleva ohjeistus määrää nostot tehtäväksi nostopisteistä, mutta ohjeistus ei ota kantaa missä vaiheessa ne määritetään ja kenen vastuulla on niiden määrittäminen. Ongelmana nykyisessä käytännössä on, että työmaalla odotetaan vaihde-elementeissä olevan valmiina nostopisteet. Nämä valmiina olevat nostopisteet ovat täysin määritetty vaihdehallin nostomenetelmiä varten ja toimivat työmaalla silloin, kun nostotapa on samankaltainen. Nostopisteissä ei kuitenkaan oteta huomioon työmaolosuhteita. Työmaalla saatetaan käyttää väärä nostopisteitä, jolloin vaarana on vaihde-elementin vaurioituminen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaankin nostoa täysin työmaan tarpeiden ja etsitään näillä perusteilla optimaaliset nostopisteet.

Nostotavat vaihtelevat sen mukaan, kuinka monesta kohtaa vaihde-elementti nostetaan ylös ja mitä eri voiman komponentteja nostosta aiheutuu. Tämän työn tarkoituksena on etsiä optimaaliset nostopisteet, mutta ennen kaikkea selvittää, mistä muista kohdista eri elementtejä mahdollisesti voisi nostaa. Tutkimuksen tarkoituksena on myös löytää ne pisteet, mistä vaihde-elementtiä ei saa nostaa. Tällaisella tarkastelulla pyritään siihen, että työmaalle saataisiin käytettäväksi enemmän vapauksia nostoihin useampien nostopisteiden myötä. Toisaalta pyritään siihen, että tulevaisuudessa vaihde-elementtejä ei nostettaisi pisteistä, jotka saattavat aiheuttaa pysyviä vaurioita vaihteen rakenteeseen. Nykyiseen tilanteeseen verrattuna tästä olisi suurta etua sekä työn päätoteuttajalle että sen tilaajalle. Näin saataisiin päätoteuttajalle enemmän mahdollisuuksia nostojen toteuttamiseen, mutta pystyttäisiin myös varmistamaan, että vaihde-elementti ei vaurioidu nostoissa.

Nostopisteiden määrittäminen etenee siten, että ensin määritetään pystysuuntaisen voiman aiheuttaman taivutuksen rajoittamana, mistä kohdista eri elementtejä pystytään nostamaan. Tämän jälkeen näistä nostopisteistä rajataan pois ne, joissa voiman komponenteista aiheutuu liian suuria rasituksia tai muut aiemmin työssä esitetyt nostoon vaikuttavat tekijät rajaavat nostopisteiden käyttöä.

6.1 Elementin mallinnus

Nostopisteiden laskemisen suorittamiseksi vaihdetta ja sen eri elementtejä mallinnetaan. Radan rakennetta, kuormituskestävyyttä ja lujuusominaisuuksia on tutkittu monenlaisilla tavoilla ja menetelmillä. Tutkimukset rajautuvat lähes täysin junakuormien aiheuttamiin rasituksiin, itse vaihde- tai raide-elementtien käsittelyä ja etenkin nostoja ei ole

juurikaan tutkittu. Käytetyt mallinnustavat voidaan jaotella karkeasti yksinkertaisiin analyttisiin mallinnusmenetelmiin ja monimuotoisiin tietokonemallinnuksiin. Analyttiset menetelmät ovat perinteinen tapa kuvata ratarakennetta yksinkertaisella materiaallimallilla. Erilaisia mallinnustapoja on lukuisia myös analyttisissä mallinnusmenetelmissä. Tavalle on hyvin tyypillistä, että tiettyyn radan kokonaisuuteen liittyvä ongelma saadaan käsiteltyä hyvin tarkasti. Analyttisissä menetelmissä saatetaan kuitenkin jättää huomioimatta kokonaan jokin tai joitakin radan komponentteja tai ainakin ne saatetaan mallintaa epätarkasti. Monimuotoisemmat mallit pohjautuvat yleensä elementtimenetelmään, jonka avulla ratarakenteen ongelma voidaan tutkia erittäin tarkasti ja on mahdollista havainnoida myös materiaalien käyttäytymistä. Elementtimenetelmään pohjautuvaa mallintamista ei kuitenkaan käytetä ensisijaisena tutkimusmallina, sillä se vaatii huomattavasti suurempia resursseja tutkimusvälineiltä ja tutkimusajalta verrattuna perinteiseen analyttiseen tutkimustapaan. (Kalliainen et al. 2014) Tässäkin työssä tutkimusongelma mallinnetaan perinteisen analyttisen tutkimusmenetelmän avulla mallintamalla vaihde-elementti palkkina.

Koko vaihdetta tai yksittäistä vaihde-elementtiä voitaisiin mallintaa myös arinamallilla. Arinamallissa pölkyt ja kiskot esitetään samassa tasossa olevina erillisinä palkkeina, joihin kohdistuvat kuormitukset ovat tätä tasoa vastaan kohtisuorassa. (Salmi et al. 2012) Tällaisia tutkimuksia ei ratarakenteista tai varsinkaan vaihteista ole juuri tehty, vaan pääasiassa arinamallia on käytetty monimutkaisten siltojen, perustusten ja laattojen tutkimiseen. (Manolo et al. 2011)

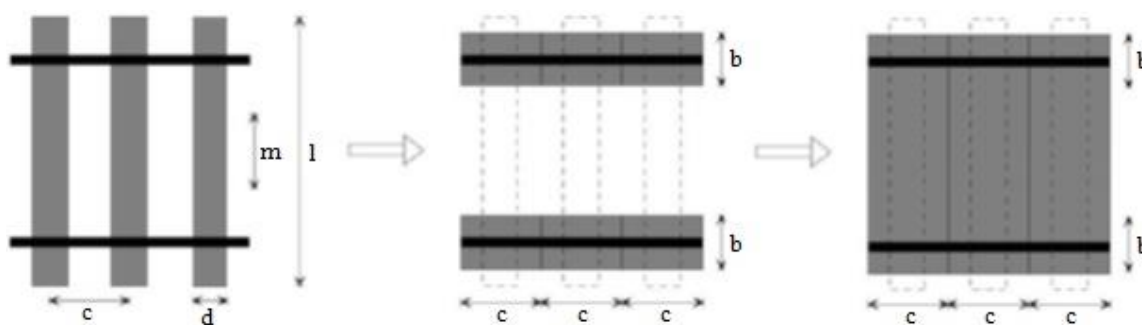
Suurin osa ratarakenteista tehdyistä tutkimuksista perustuu normaaliin suoraan raiteeseen ja pääsääntöisesti tutkimuksissa tarkastellaan junakuorman aiheuttamia jännityksiä, jotka vaikuttavat radan jäykkyyteen. Tavallisesti näitä tutkimuksia on tehty BOEF-mallin (Beam On Elastic Foundation) avulla. Mallia pidetään hyvin perinteisenä tapana ratkaista ratarakenteen lujuusominaisuuksia. Malli perustuu Euler-Bernoullin -palkkiin, johon lisätään joustava alusta. Mallintamisen avulla on myös saatu hyviä tuloksia teoreettisen ja käytännön tutkimuksia vertaamalla. Tavallisesti radan jäykkyyksiä tutkittaessa otetaan tutkimuksissa huomioon myös pölkköjen alla olevat maakerrokset osana radan rakennetta. Tässä tutkimuksessa joustava alusta rajataan mallinnuksesta pois, sillä vaihteiden käsittelyssä kiinnostaa vain vaihde-elementin jäykkyys, ei alustan käyttäytyminen. Vaihde-elementtejä nosteltaessa nostetaan käytännössä kiskoja, joihin kohdistuu omasta massasta aiheutuvan kuorman lisäksi elementin muiden komponenttien kuorma. Todellisuudessa suurimman osan kuormasta muodostavat pölkyt. Euler-Bernoullin palkki on tutkimuksessa koko vaihde-elementti, jota kuormittaa sen oma paino. (Peltokangas et al. 2013 ja Manolo et al. 2011)

6.1.1 Massan jakauma

Yksittäisten vaihde-elementtien kokonaismassat on esitelty taulukossa 6 ja elementtien painopisteet taulukossa 11. Massan jakauma on erittäin tärkeä tieto laskettaessa ele-

menttiin nostossa kohdistuvia taivutusmomentteja. Normaalina suoraa raidetta tutkittaessa raiteen käyttäytyminen voidaan mallintaa muutaman pölkyn avulla olettamalla, että tilanne on samanlainen myös muualla radalla, sillä kiskot ja pölkyt ovat symmetrisiä. Toisin kuin normaalissa suorassa raiteessa, rautatievaihteessa tulee ottaa huomioon aina kaikki pölkyt, jotka tiettyyn elementtiin kuuluvat, sillä ne ovat lähes kaikki epäsymmetrisiä. (Manolo et al. 2011)

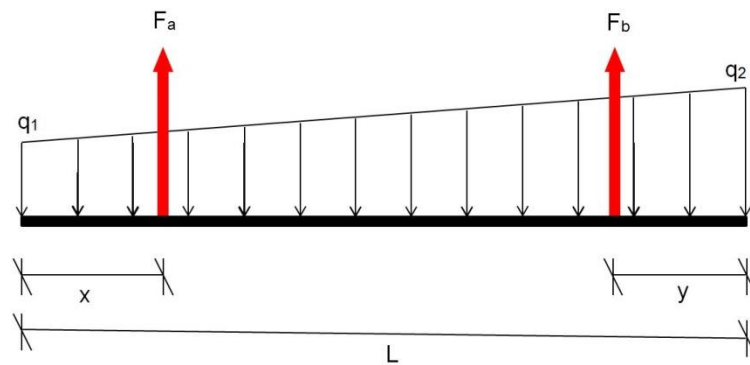
Elementin massa on nostojen kuorma ja siitä suurimman osan muodostavat pölkyt. Tästä syystä massan jakaumaa tutkittaessa tulee erityisesti kiinnittää huomiota pölkkyihin. Todellisuudessa yksittäisestä pölkystä aiheutuu nostossa pistekuorma. Pölkyt mallinnetaan laskelmiin kuitenkin siten, että niistä aiheutuvat kuormat ovat pistekuormien sijaan jatkuvia. Todellisuudessa jatkuvia kuormia vaihde-elementissä ovat vain kiskot, joilla on tietty metrimassa ja niistä aiheutuvat kokonaispainot saadaan laskettua kertomalla metrimassa komponentin pituudella. Pistekuormien muuttaminen jatkuvaksi kuormaksi on yleinen toimenpide rakenteiden mitoittamisessa tutkittavan tilanteen laskennan helpottamiseksi. Talonrakenteiden mitoittamisessa saatetaan esimerkiksi kattokannattajilta tulevia kuormia tai tuulikuormia olettaa tasaisiksi kuormiksi. (Pentti 2011) Ratateknisissä tutkimuksissa on tavallisesti luotu BOEF-malliin irrallisista epäjatkuvista pölkkyistä mallinnus, jossa poikittaisten pölkkyjen sijaan on kaksi jatkuvaa pölkkyä kiskoja alla. BOEF-mallissa tällaisella ajattelulla voidaan helpommin mallintaa alustasta kohdistuvia tukivoimia. Tässä työssä pölkkyjä ei kuitenkaan oleteta kahdeksi jatkuvaksi pölkkyksi, vaan pölkkyistä aiheutuvat irralliset pistekuormat muutetaan elementin mittaiseksi jatkuvaksi kuormaksi. Pölkkyistä aiheutuva kuorma voidaan laskelmissa olettaa olevan yhtenä jatkuvana kuormana kiskoja alla kuvan 59 mukaisesti. (Skoglund 2002)



Kuva 59. Vasemmalla todellisten pölkkyjen aiheuttama kuorma, keskellä kiskoja alla olevat kaksi jatkuvaa pölkkyä ja oikealla pölkkyjen muodostama jatkuva kuorma (muokattuna lähteestä Skoglund 2002)

Lisäksi mallinnuksessa otetaan jo tässä vaiheessa huomioon, että vaihde-elementin lujuusominaisuudet ja nostopisteet lasketaan jatkossa pölkkyväleittäin. Vaihde-elementtien nostoissa on työmaan kannalta käytännöllisintä määrittää nostopisteiksi pölkkyvälit, sillä tiettyä määritettyä matkaa esimerkiksi kiskon kärjestä on työmaalla työlästä määrittää. Näin ollen työmaalla on helpompaa, kun nostopisteiden sijaan käytetään termiä nostoväli, jolla tarkoitetaan nostoon soveltuvaa pölkkyväliä.

BOEF-mallin heikkous on, että sillä ei pystytä ottamaan huomioon yksittäisen vaihde-elementin epäsymmetristä muotoa, vaan se ajatellaan jäykkänä palkkina. Nostettaessa vaihde-elementtiä siinä syntyy aina jonkin verran vääntöä. Suoritettaessa nosto oikeaoppisesti painopisteestä tasaisilla voimilla vääntö saadaan minimoitua ja elementti nousee suorana. Massan jakauman muodostamisessa pystytään kuitenkin ottamaan huomioon elementtien epäsymmetrinen muoto. Elementin järjestysnumeroltaan isommat pölkyt ovat pidempiä kuin pienemmät pölkyt pois lukien erikoispitkät asetinpölkyt. Näin ollen vaihde-elementin massasta tulee luoda niin sanottu suunnikaskuorma eli jatkuvan kuorman q_1 on pienempi kuin q_2 kuvan 60 mukaisesti. Tällöin pystytään mallintamaan realistisemmin elementin päihin kohdistuvia erisuuria massoja.



Kuva 60. Mallinnettu tilanne vaihde-elementin nostosta.

Laskelmissa jatketaan voimien merkitsemistä samalla tavalla kuin aiemmin työssä. Elementin a-puolen nostavia voimia merkitään symbolilla F_a ja vastaavasti elementin b-puolen voimia symbolilla F_b . Lisäksi voiman F_a etäisyys elementin päästä merkitään symbolilla x ja voiman F_b etäisyyttä elementin toisesta päästä merkitään symbolilla y , kuvan 60 mukaisesti.

6.1.2 Dynaamiset kuormat

Tähän asti on käsitelty vain vaihde-elementtiin kohdistuvaa staattista kuormaa eli käytännössä elementin omaa massaa. Tässä tutkimuksessa on oleellista ottaa huomioon myös nostoissa syntyvät nostonopeudesta, kiihtyvyyksistä ja nykäyksistä aiheutuvat dynaamiset kuormat. Materiaalien käyttäytymiseen vaikuttavat myös työmaalla vallitsevat olosuhteet kuten lämpötila, kuormitusnopeus ja jännitystila. (Salmi et al. 2010) Dynaamiset kuormat ovat nostojen kannalta kriittisiä, sillä äkillisellä noston kiihtyvyyden muutoksella voidaan aiheuttaa hetkellisiä voiman lisäyksiä, jotka saattavat aiheuttaa pysyviä muodonmuutoksia kiskossa. Vaihde-elementtien nostoissa dynaamisia kuormia ei pystytä täysin välttämään. Elementtien nostoissa tulisi pyrkiä pitämään nostovoima tasaisena, jolloin vaihde-elementin liike olisi tasaista. Noston tulee tapahtua kaikista suunnitelluista nostoväleistä yhtäaikaaisesti, jolloin pystytään osaltaan välttämään koh-

tuuttoman suuria dynaamisia kuormia. Dynaamisia olosuhteita lisäävät lisäksi nostolaite ja nostotapa. (Liikennevirasto 2007)

Dynaamiset kuormat otetaan tämän työn laskelmissa huomioon kertoimella. Kertoimen arvo riippuu periaatteessa työmaakohtaisesti siitä, kuinka tasaisesti nostoliike tapahtuu ja millaiset ovat vallitsevat olosuhteet. Kerroin voitaisiin tutkia kokeellisesti vaihde-elementtien nostojen yhteydessä ottamalla ylös, kuinka suuria voimia vaihde-elementtien nostoissa aiheutuu ja laskemalla tästä kerroin vaikuttaviin kuormiin. Tällaista tutkimusta ei tämän työn yhteydessä ole tehty, joten kerroin on määritetty perustuen kirjallisuudessa käytettyihin arvoihin. Betoniteollisuus (2010) arvioi ohjeessaan ajoneuvonosturilla tehtävien elementtien nostojen dynaamisen kertoimen suositukseksi 1,4. Tampereen teknillisessä yliopistossa käytyjen keskustelujen (Kerokoski 2015) perusteella arvona olisi hyvä käyttää yli 1,3. Talonrakennustyömailla dynaamisista kuormista aiheutuvat kertoimet voivat olla vieläkin korkeampia johtuen siitä, että nostoja saatetaan tehdä henkilöiden yli ja tällöin nostojen varmuuskertoimet halutaan pitää korkeina. (Kerokoski 2015) Vaihde-elementtien nostoja ei kuitenkaan sallita henkilöiden yli missään olosuhteissa. Myös CFS (2015) arvioi omassa teoksessaan, joka käsittelee betonielementtien nostoja, dynaamiseksi kertoimeksi 1,3 käytettäessä ajoneuvonosturia tai radalla liikkuvaa nostolaitetta eli raidenosturia. Tässä tutkimuksessa on päädytty käyttämään dynaamisista kuormista aiheutuvana kertoimena 1,4. Näin ollen kaikki muodostetut kuormat kerrotaan tällä arvolla.

6.1.3 Nostoissa vaikuttava kuorma

Elementtien massan, sen jakauman ja dynaamisten kuormien perusteella voidaan määrittää millainen kuvan 60 jatkuva kuorma vaihteen eri elementeissä nostojen aikana vaikuttaa. Jatkuvan kuorman luomiseksi tulee eri elementeille määrittää metrimassa. Pölkkyjen erisuuruista massoista johtuen jatkuva kuorma mallinnetaan suunnikaskuormana. Mallinnuksessa kuorman resultantin eli jatkuvan kuorman voimavektorin tulee olla yhtä suuri kuin elementin kokonaispaino. Lisäksi resultantin paikka tulee määrittää elementin painopisteeseen. Suunnikaskuorman resultantin suuruus voidaan laskea kaavalla 15.

$$R = (q_1 + q_2) \frac{L}{2}, \quad (15)$$

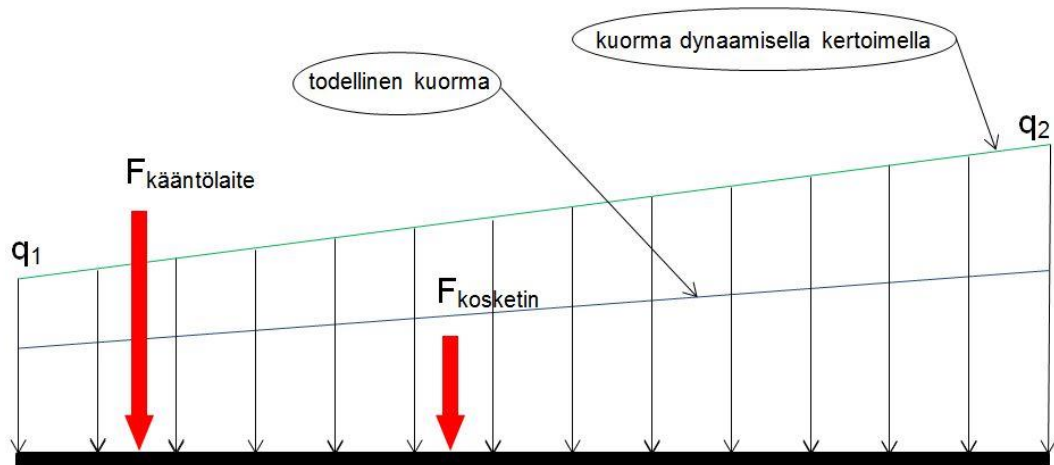
missä L on elementin pituus ja kuormat q_1 ja q_2 ovat kuvassa 60 esitetyt kuormat.

Mallinnuksessa elementin yhteismassa jaetaan koko elementin pituudelle. Tällä tavalla massa saadaan jaettua sen todelliselle vaikuttavalle alueelle. Lisäksi mallintamisessa tulee pyrkiä myös siihen, että elementin kuorman resultantti saadaan kappaleessa 5.2.1 laskettuihin painopisteisiin. Suunnikaskuorman resultantin paikka x_0 voidaan laskea kaavalla 16.

$$x_0 = \frac{(q_1 + 2q_2) L}{(q_1 + q_2) 3}, \quad (16)$$

missä L on elementin pituus ja kuormat q_1 ja q_2 ovat kuvassa 60 esitetyt kuormat.

Välikiskoelementin ja risteuselementin kuorman mallintaminen on yksinkertaisempaa kuin kielisovituselementin mallintaminen. Välikiskoelementti ja risteuselementti mallinnetaan kuvan 60 mukaisella tavalla. Tässä tutkimuksessa elementtien mallintamisessa on tarkoitus jakaa vain pölkkyjen massa tasaisesti koko elementille. Mallinnuksessa ajatellaan aluslevyjen ja kiskonkiinnitysten massa osana pölkkyjen massaa. Kielisovituselementissä pitkien asetinpölkkyjen, vaihteenkääntölaitteiden, koskettimien, tankojen ja kääntöavustimen tuomat lisämassat mallinnetaan erillisinä pistevoimina kuvan 61 mukaisesti.



Kuva 61. Mallinnettu tilanne kielisovituselementin nostosta.

Tällä tavalla pystytään realistisemmin mallintamaan tilannetta, jossa asetinpölkkyistä aiheutuva paino kohdistuu vain tiettyyn kohtaan elementtiä eikä jakaudu tasaisesti koko elementin matkalle. Tätä varten on kaavan 3 avulla laskettava painopiste pelkästään kielisovituselementin pölkkyille. Pölkkyjen painopiste on määritetty siten, että asetinpölkkyt on ajateltu ”normaaleiksi” vaihteen pölkkyiksi ja niiden lisäpituuden tuoma massan lisäys on laskettu pistevoiman suuruuteen mukaan. Tällä tavalla on saatu vaihteen YV60-300-1:9 kielisovituselementin pölkkyjen painopisteeksi 7,11 metriä. Kuvan 61 pistevoimien suuruudet samalle vaihteelle ovat 8200 N ja 4100 N.

Vaihteiden massat ja pituudet tiedetään jo ja ne on esitelty taulukossa 6. Taulukkoon 14 on muutettu taulukon 6 massa kilogrammoista kilonewtoneiksi eli painoksi. Jakamalla elementtien painot pituudella saadaan selvitettyä eri elementtien metrimassa tasaisella jatkuvalla kuormalla. Tasainen kuorma tulee muuttaa kuvien 60 ja 61 mukaisiksi suunnikaskuormiksi. Eri elementtien painopisteet tiedetään. Lisäksi tehdyillä oletuksilla ja kaavojen 15 sekä 16 avulla voidaan laskea jokaiselle vaihde-elementille q_1 ja q_2 arvot.

Vaihteen YV60-300-1:9 eri elementtien kuormat on koottu tummennettuina taulukkoon 14.

Taulukko 14. Vaihteen YV60-300-1:9 eri elementtien nostopisteiden laskennassa käytettävät arvot.

	Kielisovitus	Välikisko	Risteys
Paino (N)	147150	147150	112815
Paino kokonaisvarmuuskertoimella (N)	257513	257513	197426
Pituus (m)	13,51	12,26	7,66
Metripaino (N/m)	19060,9	21004,3	25773,7
Jatkuva kuorma (N/m) q_1	15575	18865	24150
[kielisovituselementissä vain pölkyt] q_2	20475	22260	27475
Kielisovituselementin pistevoimat (N)	Kääntölaite		
	Kosketin + lukitsin		
	8200		
	4100		
Resultantti jatkuvalla kuormalla (N)	255818	252096	197827
Resultantin paikka jatkuvalla kuormalla	7,06	6,30	3,91
Painopiste [kielisovituselementissä vain pölkyt]	7,11	6,32	3,89

Taulukossa 14 on lisäksi vertailtu, miten muodostettujen kuormien avulla lasketut painopisteen paikat ja resultantin suuruudet eroavat todellisista arvoista. Taulukosta voidaan havaita, että sekä resultantin suuruudet että painopisteiden paikat ovat lähes samoja. Näitä tuloksia käytetään jatkossa elementtien nostoissa kohdistuvan taivutusmomentin laskemiseen.

6.2 Vaihde-elementin taivutus

Vaihde-elementtien käsittelyn tärkein suunnitteluperuste on nostosta aiheutuva kiskoon kohdistuva taivutusmomentti ja sen aiheuttama taipuma. (Viitala 2015) Taivutuksen aiheuttavat nostossa syntyvät pystysuuntaiset voimat. Taivutuksessa elementin pituus-suuntaiset säikeet sekä puristuvat kasaan että venyvät. Rakenteen rasitukset eli sisäiset voimat on tarpeellista selvittää nostoissa, sillä ne pitävät rakenteen koossa sitä kuormitettaessa ulkoisesti eli tässä tapauksessa nostettaessa ilmaan. Jokaisella vaihde-elementin rakenteesta tutkittavalla differentiaalisen pienellä poikkileikkauksella on omat vaikuttavat rasituksensa ja niistä riippuu kestääkö se vaikuttavan kuormituksen ja miten deformatuva kappale mahdollisesti muuttaisi muotoaan. (Salmi et al. 2010) Rakenteen mitoittaminen kestäämään ja kantamaan annetut kuormitukset on rakenteiden suunnittelun keskeinen tehtävä (Salmi 2005).

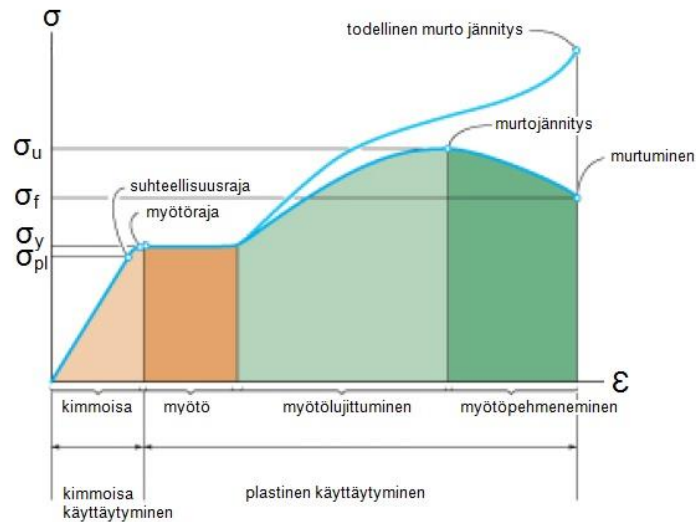
Taivutusmomentit M_t on kahden rakenteen sisäisen voimaparin muodostamia momentteja, joiden tehtävä on estää eri puolilla olevien osien kääntyminen toisiinsa nähden. Vaihde-elementtien nostoissa taivutus kohdistuu pääasiassa kiskoihin. Tästä syystä on oleellista tutkia nostojen aikana kiskoon kohdistuvia taivutusmomentteja ja selvittää taivutusmomentti kaikissa elementin poikkileikkauksissa. Näitä syntyviä taivutusmo-

mentteja verrataan kiskossa sallittavaan taivutusmomentin arvoon ja etsitään nostoille raja-arvot. Kiskoon kohdistuvien taivutusmomenttien arvot kaikissa elementin poikkeileikkauksissa saadaan parhaiten selvitettyä taivutusmomenttikuvaajan avulla. (Salmi 2005)

Tehtyjen havaintojen perusteella työmaalla odotetaan nostopisteitä elementtiin valmiiksi merkittyinä. Nykyinen ohjeistus (Liikennevirasto 2007) on ristiriitainen nostopisteiden määrittämiseen liittyen. Ohjeen mukaan radasta poistettavien elementtien nostopisteiden määrittäminen on vaihteen suunnittelijan vastuulla ja uuden vaihteen nostopisteet tulisi määrittää siten, että elementin taipuma ei nousisi noston aikana suuremmaksi kuin $L/50$. Tämä taipumaraja tarkoittaa sitä, että elementin pituus jaetaan luvulla 50 ja noston aikainen vaihde-elementin suurin taipuma ei saa olla tätä suurempi. Eri kiskolaaduilla on eri lujuusominaisuudet, mikä on tämänkin tutkimuksen aikana todettu ja toisaalta esimerkiksi kielisovituselementin nostoissa tulisi aina pyrkiä kielien kärkien taipumattomuuteen. Taipumarajan $L/50$ käyttö työmaalla kuulostaa huolestuttavalta varsinkin, jos vaihde-elementti nostetaan ensin ilmaan ja sitten tarkastetaan, mikä sen taipuma on. Nostopisteet tulisivatkin selvittää taivutusmomentin kautta ja samaan aikaan pyrkiä ottamaan eri elementtien ominaisuuksien erityisvaatimukset huomioon. Jatkossa tulisivatkin pohtia, kannattaako taipuman perusteella rajata tai sallia nostovälejä. Jos taipumarajaa päädytään käyttämään määräävänä tekijänä, eri vaihteille ja niiden eri elementeille tulee määrittää omat taipumarajat. Erityistä huomiota tulee kiinnittää kielisovituselementtiin ja varsinkin kielisovituselementin kielikiskojen kärkien puoleiseen taipumarajaan. Näistä syistä tässä tutkimuksessa ei oteta kantaa elementtien taipumiin vaan nostovälit määritetään taivutusmomentin perusteella.

6.2.1 Sallittu taivutusmomentti

Nostoihin sallittavien pölkkyvälien eli nostovälien tärkeimpänä suunnitteluperusteena on kiskoon kohdistuva taivutus, joka ei saa olla niin suuri, että kiskoon syntyy nostojen aikana pysyviä muodonmuutoksia. Tämän tulisi aina olla ensisijainen suunnitteluperuste jokaisella vaihdetyömaalla nostopisteitä valittaessa. Nostosta kiskoon aiheutuvien muodonmuutosten tulee olla vähintään kimmoisia eli kiskojen tulee palautua noston jälkeen täysin alkutilaan. Tällä tavalla suunnitellaan rautatierakenteiden lisäksi useimmat muutkin rakenteet. Laskettaessa kiskon käyttäytymistä jännityksessä voidaan kiskon käyttäytyminen olettaa lineaarisesti kimmoisaksi kuvan 62 mukaisesti. Näiden tekijöiden perusteella tulisi vaihde-elementtiä nostaa aina siten, että nostoissa syntyvän taivutuksen aiheuttaman jännityksen σ tulee olla pienempi kuin kiskon myötörajan σ_y . (Salmi et al. 2010) Toisin sanoen taivutusmomentin aiheuttama jännitys saa nousta kuvan 62 tilanteessa vain niin suureksi, että teräksen käyttäytyminen pysyy täysin kimmoisalla alueella. Muuten nostojen seurauksena kiskoon syntyy pysyviä muodonmuutoksia.



Kuva 62. Teräksen $\sigma\epsilon$ – kuvaaja. (Pöllänen 2015)

Käytettävillä kiskoilla on kiskon teräslaadusta riippuen eri lujuusarvoja, jotka on esitelty kappaleessa 3.1.1. Täysin kimmoisaan tilanteeseen päästään käytännössä siten, että taivutusmomentti ei saa noston aikana nousta suuremmaksi kuin mitä taivutusmomentti myötöraja olisi. Kiskon myötöraja σ_y , joka on esitetty taulukossa 5, voidaan laskea kaavalla 17.

$$\sigma_y = \frac{|M_{sallittu}|}{W_z}, \quad (17)$$

missä

σ_y = kiskon myötöraja,

$M_{sallittu}$ = suurin sallittu noston aikainen taivutusmomentti ja

W = kiskon taivutusvastus. (Salmi 2010)

Kaavasta 17 voidaan määrittää kiskon itseisarvoltaan suurin sallittu taivutusmomentti, muokkaamalla kaavaa. Itseisarvoltaan suurin taivutusmomentti saadaan laskettua kaavalla 18.

$$|M_{sallittu}| \leq \sigma_y * W_z. \quad (18)$$

Myötörajan lisäksi eri teräksen poikkileikkauksilla on erilainen taivutusvastus. Taivutusvastus voidaan määrittää neutraaliakselilta teräselementin molemmille reunoille, mutta yleensä kirjallisuudesta on saatavilla vain yksi taivutusvastus. Myös kiskoista ilmoitetaan tavallisesti vain yksi taivutusvastus. Tällä taivutusvastuksella tarkoitetaan näistä kahdesta arvosta pienempää. Taivutusvastus voidaan laskea kaavalla 19.

$$W_z = I_z / h_i, \quad (19)$$

missä

I_z = kiskon jäyhyysmomentti ja

h_i = etäisyys kiskon neutraaliakselilta sen reunalle. (Salmi 2010)

Kaavasta 19 voidaan havaita, että merkitsevä eli pienempi taivutusvastus W_z saadaan siltä reunalta, mihin on kiskon neutraaliakselilta pidempi etäisyys. Tämä johtuu siitä, että jäyhyysmomentti I_z on kiskolla vakio, jolloin pidempi etäisyys h_i pienentää kaavan 19 tulosta. Taulukosta 5 havaitaan, että pidempi etäisyys kiskon neutraaliakselilta on kiskon yläreunaan eli hamaraan. Tämä reuna on taivutusvastuksen kannalta merkitsevä (Kerokoski 2015).

Taivutuksessa tulee kiskon yläpinnan lisäksi kiinnittää huomiota kiskon jalkaan, sillä kiskossa syntyneitä väsymishalkeamia on raportoitu maailmalla laajasti. Ennen kaikkea ratakiskon jalan keskipiste on kohta, josta halkeamia on havaittu. Käytännössä tämä piste on myös ratarakenteen kuormituskestävyyden kannalta oleellinen, sillä mitä suurempana liikenteestä aiheutuva jännitystaso vaikuttaa kiskon jalkaan, sitä suurempana se siirtyy koko ratarakenteeseen. Kiskon jalka ei saa nostoissa kuormittua sallittuja taivutusjännityksiä suuremmaksi, jotta kiskon rakenne kestää tulevat junakuormat vaihteessa. Kiskon jalkaan on taulukon 5 mukaisesti neutraaliakselilta lyhyempi matka kuin kiskon hamaralle. Kiskon jalassa voitaisiin nostojen aikana näin ollen sallia suurempi taivutus kuin hamarassa. Tässä tutkimuksessa muodostetaan vain yksi taivutusmomentin raja, joka määräytyy kiskon hamarasta. Tällä tavalla pystytään varmistamaan myös se, että kiskoon ei synny puristuksenkaan aikana pysyviä muodonmuutoksia. (Kalliainen et al. 2014 ja Kerokoski 2015)

Sijoittamalla kaavaan 19 taulukosta 5 tarvittavat arvot, saadaan kiskon taivutusvastukseksi $335\,714\text{ mm}^3$. Tämä vastaa hyvin kirjallisuudesta saatua arvoa $335\,000\text{ mm}^3$. Näin saadaan kaava 18 muotoon

$$|M_{\text{sallittu}}| \leq \sigma_y * W_{\text{yläpinta}}, \quad (20)$$

missä $W_{\text{yläpinta}}$ on kiskon taivutusvastus kiskon yläpintaan.

Kaavasta 20 voidaan laskea sallittu itseisarvoltaan suurin taivutusmomentti sijoittamalla taulukosta 5 kiskon myötöraja ja kaavalla 19 laskettu kiskon taivutusvastus. Tulokseksi saadaan $147\,400\text{ Nm}$ ja vaihde-elementtiin saa nostoissa kohdistua $-147\text{--}147\text{ kNm}$ suuruisia taivutusmomentteja. Suuremmilla tai pienemmällä taivutusmomentin arvoilla kiskoon syntyy pysyviä muodonmuutoksia.

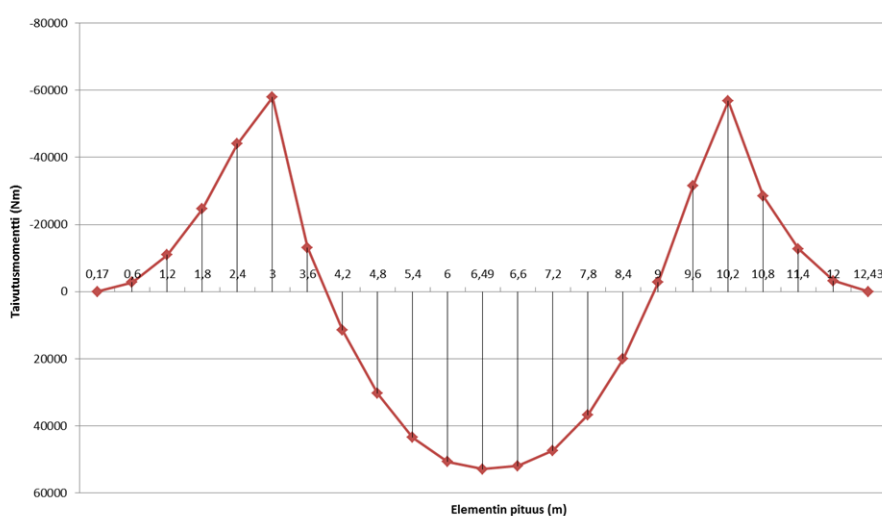
Risteyselementtiä nostettaessa mangaaniteräksestä tehdyllä risteyksellä on eri lujuusominaisuudet kuin kiskolla. Kappaleessa 3.2.3 esiteltiin risteyksen myötörajaksi 345 MPa . Lisäksi risteyksen jäyhyysmomentti on vähintään 1,8 kertaa suurempi kuin tavallisen kiskon. Näillä suhteilla voidaan laskea mangaaniteräksestä tehdyille risteyselementille vastaavasti sallittu taivutusmomentti yhdistämällä kaavat 18 ja 19. Sallituksi

taivutusmomentiksi saadaan itseisarvoltaan 208 kNm. Voidaan siis todeta, että myös risteuselementtiä nostettaessa taivutuksen raja-arvona tulee käyttää kiskon sallittua taivutusmomentin vaihteluväliä.

6.2.2 Taivutusmomentin rajaamat nostopisteet

Nostosta vaihde-elementtiin kohdistuvan taivutusmomentin arvo riippuu nostoon tarvittavasta voimasta sekä käytettävien nostovälien etäisyyksistä painopisteeseen. Nostoon tarvittavien voimien suuruudet voidaan laskea kaavoista 11 ja 12. Kaavojen mukaisesti voimien suuruudet riippuvat käytännössä käytettävistä nostoväleistä ja niiden keskinäisestä etäisyydestä sekä etäisyyksistä painopisteeseen nähden. Noston aikana taivutusta syntyy nostovälien välissä ja elementin päissä. Käytettävissä olevat nostovälit saadaan selvitettyä laskemalla syntyvät taivutusmomentit jokaisesta eri pölkkyvälistä nostettaessa. Ne pölkkyvälit, missä taivutusmomentti nousee suuremmaksi kuin edellisessä kappaleessa määritetty suurin sallittu taivutusmomentti, eivät ole käytettävissä.

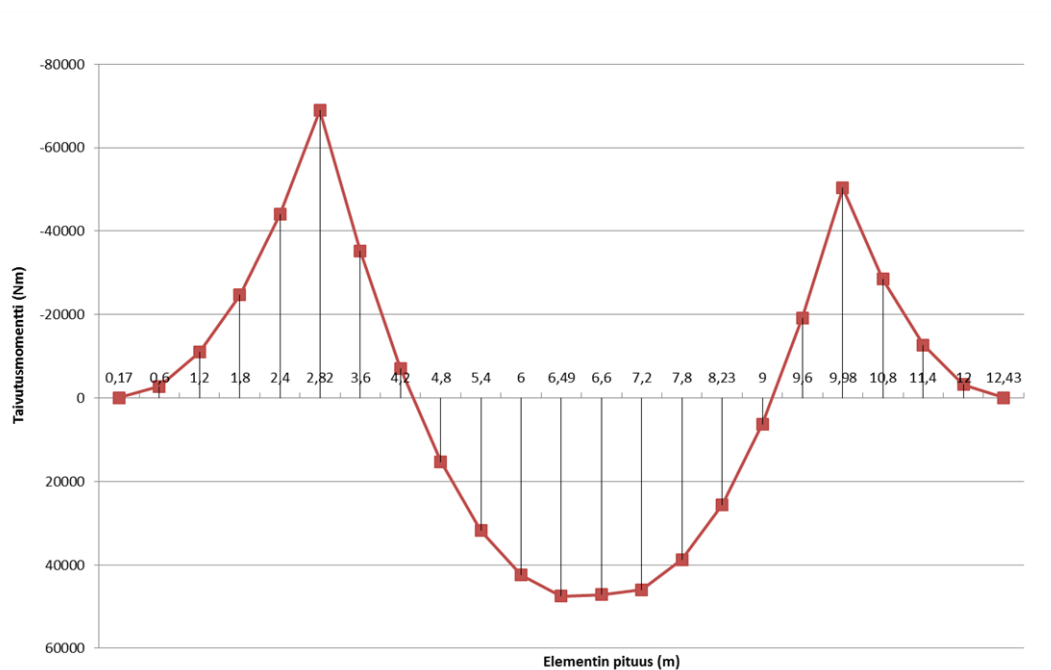
Tutkittava tilanne voidaan mallintaa kuvissa 60 ja 61 esitetyillä tavoilla riippuen, mitä elementtiä tarkastellaan. Tällaisista tilanteista voidaan määrittää taivutusmomenttikuvaaja tuntemalla etäisyydet ja voimat. Kaikkein optimaalisimmat nostovälit saadaan selvitettyä tutkimalla, milloin nostosta aiheutuva itseisarvoltaan suurin taivutusmomentti on mahdollisimman pieni. Tällöin myös taivutusmomentista aiheutuva vaihde-elementin taipuma on pienin mahdollinen. Optimaaliset nostopisteet saadaan selville määrittämällä eri elementeille taivutusmomenttikuvaaja siten, että itseisarvoltaan suurin taivutusmomentin maksimi on mahdollisimman pieni. Kuvassa 63 on vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementin taivutusmomenttikuvaaja nostettaessa sitä optimaalisimmilla kohdilta välittämättä siitä, onko kohta pölkkyjen välissä vai pölkyn kohdalla.



Kuva 63. Vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementin optimaalisimmat nostopisteet.

Kuvasta 63 voidaan havaita, että taivutusmomentin maksimi on suunnilleen yhtä suuri kuin taivutusmomentin minimi. Välttämättä aina ei aivan täysin yhtäsuuriin arvoihin päästä. (Kerokoski 2015) Elementtiin kohdistuu kuvan mukaisessa tilanteessa mahdollisimman vähän taivutusta, sillä itseisarvoltaan suurin taivutusmomentti on mahdollisimman pieni. Tätä pienemmäksi ei taivutusmomentin itseisarvoa voida saada. Tällä perusteella voitaisiin määrittää jokaiselle elementille mahdollisimman optimaaliset nostopisteet.

Nostopisteet halutaan kuitenkin selvittää aina pölkkyväleittäin, kuten aiemmin mainittiin. Lisäksi nostovälit selvitetään aina jokaisen pölkkyvälin keskikohdan suhteen, sillä nostoissa ei haluta nostoapuvälineiden ja pölkyn tai kiskonkiinnityksien välistä kontaktia. Tällä tavalla saadaan jaettua kaikki voiman komponentit tasaisesti ympärillä oleville kiskonkiinnityksille. Näin ollen optimaalisimmat nostovälit tulee määrittää tutkimalla taivutusmomentin maksimit ja minimi eri pölkkyvälien keskellä. Niissä nostoväleissä, missä taivutusmomentin itseisarvo on mahdollisimman pieni, on elementin optimaalisin nostokohta. Optimaalisimmat nostovälit saadaan näin määritettyä vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementille pölkkyväleihin 28–29 ja 40–41. Tällaisen noston taivutusmomenttikuvaaja on esitetty kuvassa 64.



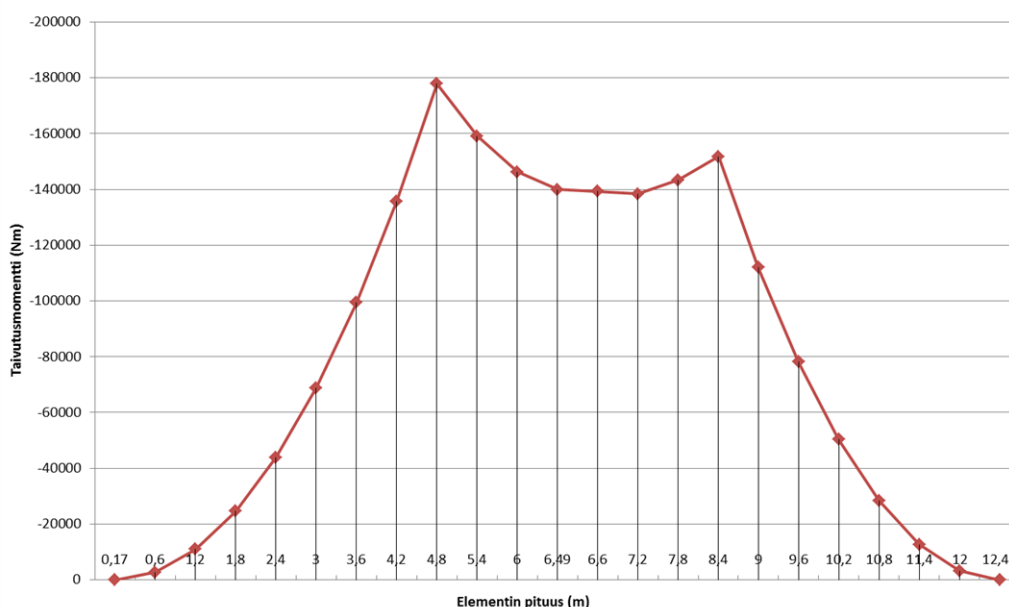
Kuva 64. Vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementin taivutusmomentti optimaalisimmissa nostoväleissä.

Kuvasta 64 voidaan havaita, että näistä väleistä nostettaessa taivutusmomentin maksimi ja minimi eivät ole yhtä suuria. Verrattuna aiemmin esitettyyn täysin optimikohtaan näillä pölkkyväleillä ei samanlaista tilannetta saavuteta. Optiminostokohdissa toinen nostopiste olisi juuri pölkyn 28 päällä. Vaihde-elementtien nostot tehdään kuitenkin

aina kiskon ympäri, joten paras mahdollinen nostokohta on kuvaan 64 piirretty eli pölkkyvälit 28–29 ja 40–41.

Kuvan 64 taivutusmomenttikuvaajasta voidaan havaita, että dynaamiset kuormat huomioituna itseisarvoltaan suurin taivutusmomentti on vain hieman yli puolet sallitusta. Nostoille voi siis olla käytettävissä muitakin mahdollisia nostoväliyhdistelmiä kuin vain optimaalisimmat. Tällaisista nostoväleistä nostettaessa johonkin elementin kohtaan kohdistuu suurempi taivutusmomentti kuin toiseen. Näitä nostovälejä käytettäessä tulee siis huolehtia, että taivutusmomentti ei nouse liian suureksi. Työmaalla tulisi kuitenkin aina pyrkiä tekemään nostot optimaalisimmista nostoväleistä, jos vain työmaan olosuhteet sen muuten mahdollistavat. Näin pystytään varmistamaan vaihde-elementin vaurioitumattomuus parhaiten. Määrittämällä taivutusmomenttikuvaaja eri pölkkyväliyhdistelmiä käyttämällä voidaan etsiä kaikki ne nostovälit, joita työmaalla voidaan käyttää. Näin työmaalle saadaan mahdollisimman paljon nostoväliyhdistelmiä käytettäväksi eikä paikan päällä tarvitse tutkia taipumia, kun nostojen säätämiselle on enemmän mahdollisuuksia.

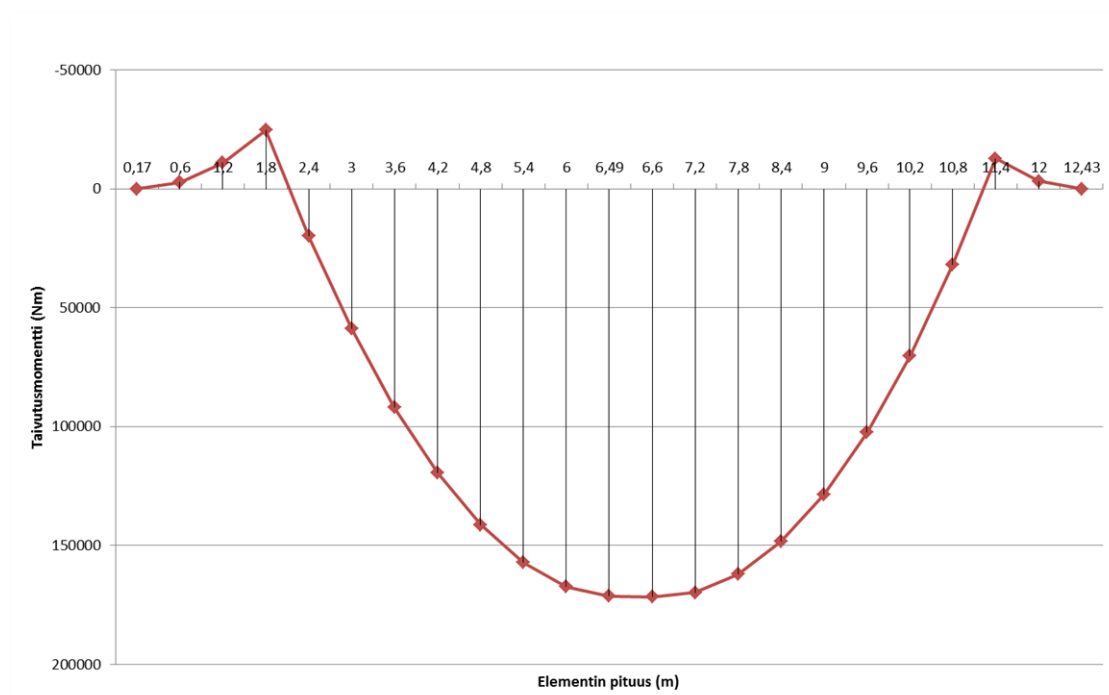
Taivutusmomentin negatiiviset huiput kasvavat, kun nostopisteiden etäisyydet elementin päistä pitenevät. Tämä johtuu siitä, että mitä enemmän pölkkyjä on nostokohdan jälkeen vapaassa päässä roikkumassa, sitä enemmän siihen kohdistuu kuormaa ja näin ollen taivutusta. Kuvassa 65 on esitetty saman vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementin taivutusmomenttikuvaaja, kun nostopisteet on tuotu niin kauas elementin päistä, että taivutusmomentti nousee sallittua suuremmaksi.



Kuva 65. Vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementtiin kohdistuvat liian suuret taivutusmomentit elementin päissä.

Kuvasta 65 nähdään, että tässä tilanteessa nostoissa syntyisi vain negatiivista taivutusmomenttia. Kuvan perusteella vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementistä voidaan rajata pois pölkkyjen 31–38 välinen alue, sillä jos tältä alueelta nostetaan elementti ilmaan elementin päät aiheuttavat pienemmän kuin -147 kNm taivutusmomentin. Kuvasta havaitaan myös, että nostettaessa pölkkyväleistä, jotka ovat yhtä kaukana elementin päistä, taivutusmomentti nousee päässä, missä on painavimmat pölkkyt, suuremmaksi. Optimaaliset nostopisteet ovat näin yhtä kaukana elementin painopisteestä sen sijaan, että olisivat yhtä kaukana elementin päistä.

Vastaavasti, kun nostopisteet tuodaan liian lähelle elementin päitä, optimitilanteen positiivinen huippu kasvaa. Toisin sanoen nostopisteiden välissä on niin paljon pölkkyjä, että ne aiheuttavat kiskoon liian suuren taivutusmomentin. Kuvassa 66 on esitetty vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementin taivutusmomenttikuvaaja yhdessä tilanteessa, jossa nostopisteiden väliin jää liian monta pölkkyä.

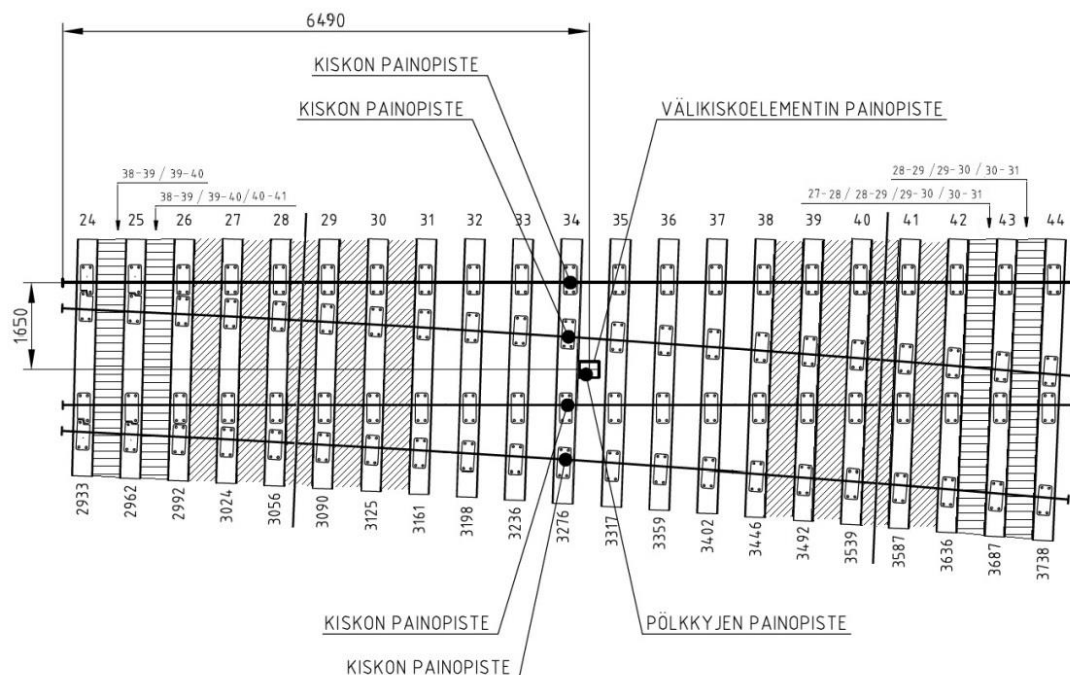


Kuva 66. Vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementtiin kohdistuva liian suuri taivutusmomentti elementin keskellä.

Kuvan 66 mukaisessa tilanteessa taivutusmomentti nousee suurimpaan sallittuun taivutusmomenttiin verrattuna liian korkeaksi.

Nostettaessa vaihde-elementtiä siten, että nostovälit ovat joko liian lähellä tai liian etäällä toisistaan, se taipuu. Taipuminen tapahtuu joko elementin päissä tai elementin keskellä nostopisteiden välissä. Nostossa syntyvä taivutus riippuu aina siitä millä etäisyyksillä nostovälit ovat sekä toistensa että elementin suhteen. Tällä tavalla voidaan käydä erilaisia pölkkyväliyhdistelmiä läpi ja etsiä kaikki ne nostovälit mistä nostot voidaan

taivutusmomentin sallimissa rajoissa tehdä. Tarkastellun elementin nostovälit on näin määritetty ja esitetty kuvassa 67.

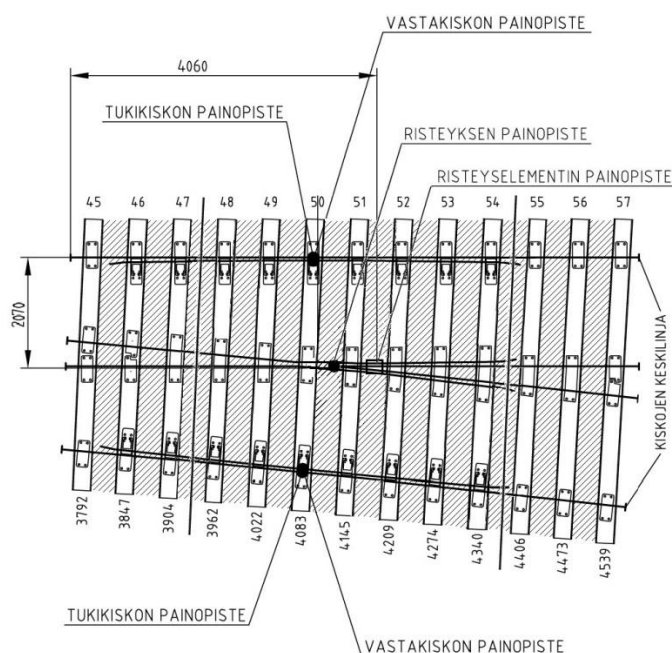


Kuva 67. Vaihteen YV60-300-1:9 väliskoelementin sallitut nostovälit (muokattuna lähteestä Pollari 2015).

Kuvan 67 eri alueiden merkitys on selitetty ohessa. Vastaavalla tavalla merkitään tässä työssä myös muiden elementtien nostovälit:

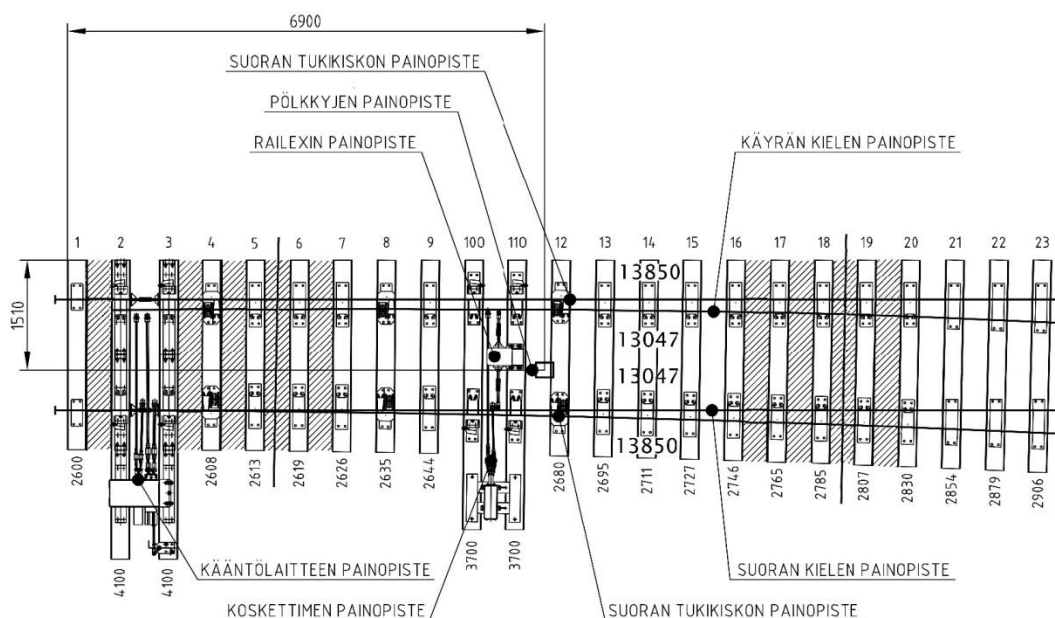
- Vinoilla viivoilla merkittyihin pölkkyväleihin voi nostoapuvälineet kiinnittää mihin väleihin vain. Näistä nostoväleistä nostettaessa taivutusmomentti ei nouse aiemmin määritettyä suurinta sallittua suuremmaksi.
- Taivutusmomentin maksimi on itseisarvoltaan pienin kun nosto tehdään pölkkyjen 28–29 sekä pölkkyjen 40–41 välistä. Tämä on siis nostolle optimaalisin pölkkyväliyhdistelmä ja kuvaan se on merkitty mustalla viivalla. Tätä pölkkyväliyhdistelmää tulisi aina ensisijaisesti työmaalla myös käyttää.
- Pölkkyväleistä 24–26 tai 42–44 eli vaakasuuntaisilla viivoilla merkityistä väleistä nostettaessa tulee toisen puolen nostovälin olla kuvaan vinoilla viivoilla merkityllä alueella.
- Pölkkyjen 31–38 väliseltä alueelta tätä elementtiä ei saa nostaa käytettäessä työhön kahta nostoväliä.

Samalla tavalla tutkitaan saman vaihteen kaksi muuta elementtiä. Vaihteen YV60-300-1:9 risteys-elementin nostokohdat on esitelty vastaavanlaisilla merkinnöillä kuvaan 68.



Kuva 68. Vaihteen YV60-300-1:9 risteyselementin sallitut nostovälit (muokattuna lähteestä Pollari 2015).

Risteyselementti on selkeästi välikiskoelementtiä ja kielisovituselementtiä lyhyempi, mikä näkyy myös sen jäykkyydessä. Etäisyydet ovat nostoissa niin lyhyet, että suuria taivutusmomenteja ei pääse syntymään. Taivutusmomentin rajaamana risteyselementtiä voi nostaa mistä pölkkyvälistä tahansa ilman, että se nousee sallittua suuremmaksi. Kuvas-
sassa 69 on värikoodein merkitty kielisovituselementin sallitut nostovälit.



Kuva 69. Vaihteen YV60-300-1:9 kielisovituselementin sallitut nostovälit taivutusmomentin kannalta (muokattuna lähteestä Pollari 2015).

Kielisovituselementti on elementeistä kaikkein herkin. Kuten aiemmin kappaleessa 3.2.1 esiteltiin, kielisovituselementin nostopisteiden suunnittelussa tulee kiskon taivutuksen sijaan ottaa huomioon ennen kaikkea kielien ja kääntölaitteiden mahdollisuus vaurioitumiselle. Tästä syystä elementin kielien kärjen puoleisen pään taivutusmomentti tulisi nostoissa pitää aina mahdollisimman pienenä. Taivutusmomentti tulee tutkia ensisijaisesti kielien kärkien puoleisen pään ehdoilla ja selvittää, mitä pölkkyvälejä voitaisiin toisella puolella samanaikaisesti käyttää ilman, että kisko myötää mistään kohdasta. Taivutusmomentin kannalta optimaalisinta olisi nostaa pölkkyjen 5–6 sekä pölkkyjen 18–19 välistä, kuvan 69 mukaisesti. Kaikkein vähiten taipumaa kielien kärjen puoleisessa päässä syntyy silloin, kun toinen nostoväli sijaitsee mahdollisimman lähellä kielien kärkeä. Toisena nostovälinä kannattaa siis käyttää pölkkyväliä, joka on niin lähellä kääntölaitetta kuin mahdollista. Kuitenkin siten, että kiskoihin ei synny nostopisteiden välissä tai elementin toisessa päässä suurinta sallittua taivutusmomenttia suurempia arvoja. Näin ollen voidaan pitää optimaalisena nostokohtana pölkkyjen 3–4 sekä 16–17 väliä. Kielisovituselementin kannattaa antaa taipua ennemmin järjestysluvultaan suurempien pölkkyjen päästä kuin elementin keskeltä, joten toiseksi nostoväliksi valitaan 16–17. Tällä tavalla vaihteenkoskettimen valvontatankoihin kohdistuu hieman vähemmän taivutusta, mikä on kriittisempi valintaperuste kuin kiskoihin kohdistuva taivutus.

6.3 Nostosta aiheutuvat muut vauriot

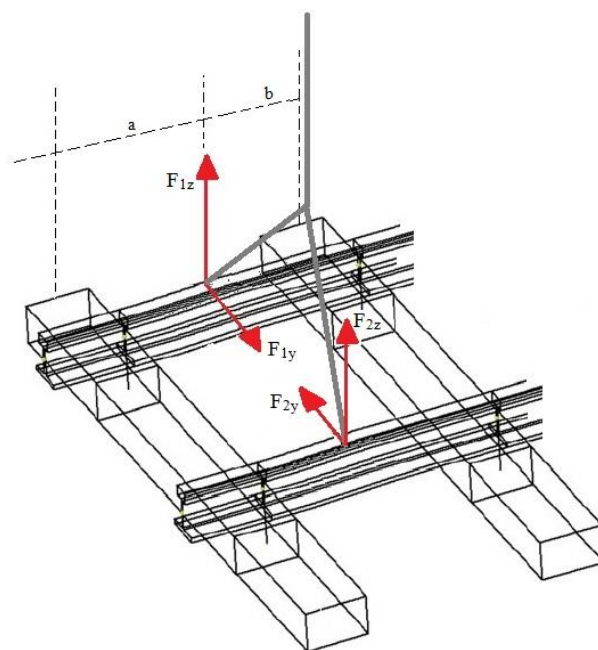
Jo aiemmin tutkimuksessa otettiin kantaa siihen, että jatkossa nostopisteiden suunnittelu tulee selkeästi osoittaa jonkun osapuolen vastuulle. Käytännössä selkeimmin nostovälien suunnittelu kuuluisi päätoteuttajan vastuulle. Nostovälien suunnittelun pohjana voitaisiin jatkossa käyttää edellisen kappaleen perusteella muodostettuja taivutusmomentin rajaamia nostovälejä. Vastaavalla tavalla tulisi jatkossa määrittää myös muista vaihteista taivutusmomentin sallimat nostoihin käytettävissä olevat pölkkyvälit. Pelkkä taivutuksen tarkastelu nostovälien suunnittelussa ei kuitenkaan riitä. Varsinkin, jos vaihdelementeille halutaan määrittää etukäteen nostopisteet eikä niitä määritetä aina työmaakohtaisesti, tulee eri tilanteita yrittää yleistää mahdollisimman paljon, jotta nostovälit olisivat mahdollisimman monella työmaalla käytettävissä.

Kappaleen 5 mukaisesti nostoista vaihde-elementtiin mahdollisesti nostojen aikana syntyville vaurioille löytyy yhteys siitä, mitä nostotapaa työhön käytetään. Toisin sanoen, jos noston yhteydessä syntyy pystysuuntaisen nostavan voiman lisäksi muita voiman komponentteja, on vaihde-elementti alttiina muillekin vaurioille kuin taivutukselle. Ideaalitilanteessa vaihde-elementtiin kohdistuisi siis vain pystysuuntaisia voimia eli vain niitä voimia, jotka nostavat elementin ilmaan ja aiheuttavat taivutuksen. Tietyillä nostotavoilla elementti joutuu kuitenkin kestäämään myös pituussuuntaisia ja poikittaissuuntaisia voimia. Tässä kappaleessa tarkastellaan merkittävimmät muut vauriot, jotka nostoissa voivat vaihde-elementteihin kohdistua. Näistä mahdollisista vaurioista tutkitaan, mitä raja-arvoja ne luovat nostovälien käytölle ja nostoille. Tarkastellaan siis voiko jos-

sain tapauksessa tietyn nostovälin käyttämisestä syntyä liian suuri riski vaihteen tai sen komponenttien vaurioitumiselle. Tämän jälkeen kappaleessa 6.4 rajataan ne taivutuksen sallimat nostovälit pois käytöstä, mitkä eivät täytä asetettuja raja-arvoja.

6.3.1 Pölkyn suuntainen veto

Nostossa saattaa syntyä nostotavasta riippuen myös pölkyn suuntaisia voimia, joita tässä työssä kutsutaan poikittaissuuntaisiksi voimiksi. Tämä voima aiheuttaa kiskon sivusuuntaista taivutusta. Aiemmin määritettiin taivutusmomentin arvot jokaisen pölkkyvälin keskeltä, mikä johtui siitä, että tällä tavalla pystytään voimia jakamaan tasaisesti kaikille kiinnityskohdan ympärillä oleville kiskonkiinnityksille. Tällainen tilanne on esitetty kuvassa 70. Kuvan mukaisessa tilanteessa olisi tärkeää, että etäisyydet a ja b olisivat noston ajan yhtä suuret, sillä näin poikittaissuuntaiset voimat jakaantuvat tasaisesti kaikille ympärillä oleville kiskonkiinnityksille. Jos toinen etäisyyksistä (esimerkiksi a) on nolla, voimat kohdistuvat voimakkaammin nostovälin toisen puolen pölkyn kiskonkiinnityksille. Yhteen kiskonkiinnitykseen kohdistuvat voimat tulee nostojen aikana pyrkiä pitämään mahdollisimman pieninä, sillä kuvan 70 tilanteesta poiketen vaihteessa on pölkkyjä useita. Tällöin yhden kiskonkiinnityksen antaessa myöden, rasitukset jakaantuvat myös vaihteen muille kiskonkiinnityksille (Kerokoski 2015). Toisen etäisyyksistä ollessa nolla vaarana on tällöin myös, että yhteen kiskonkiinnitykseen kohdistuu suurempi voima kuin mitä se kestää.

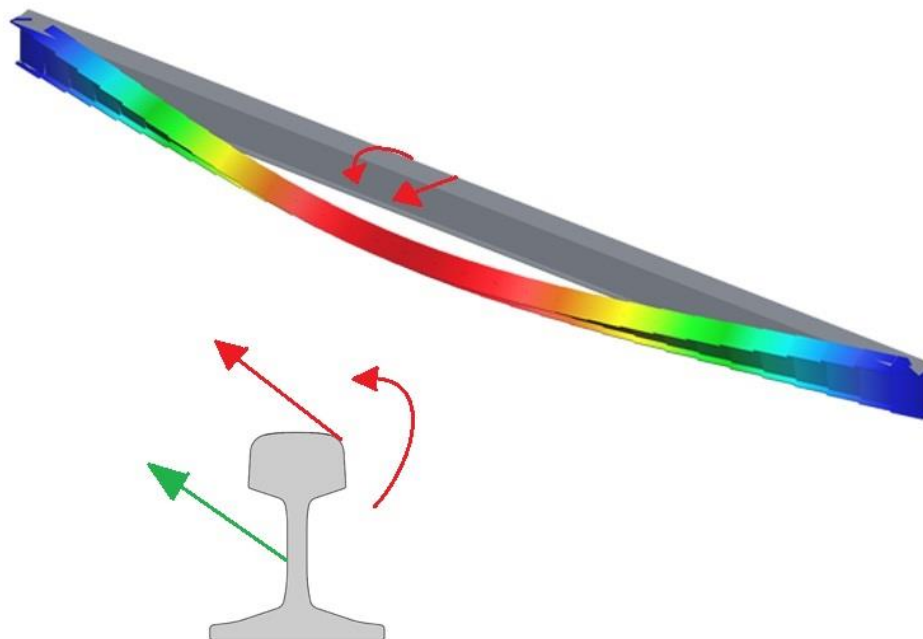


Kuva 70. Kiskoon ja kiskonkiinnitykseen vaikuttavat poikittaissuuntaiset voimat muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011)

Nostoapuvälineet kiinnittämällä kiskon ympäri syntyy kiskoon pölkkysten välille taivutusmomentti ja sitä myöten kisko taipuu. Kuvaan 70 merkatut poikittaissuuntaiset voimat F_{y1} ja F_{y2} aiheuttavat tätä taivutusta. Nostovälejä määritettäessä tuleekin tutkia, mikä on suurin sallittu poikittaissuuntainen voima, mikä nostossa voidaan sallia. Pystysuuntaiselle koko elementin taipumalle ei aiemmin määritetty raja-arvoja, sillä työmaalla ei tulisi nostopisteitä määrittää taipumaa hyväksi käyttäen. Tämä perustuu täysin siihen, että eri elementeillä taipumarajat ovat erilaiset johtuen eri elementtien komponenttien ominaisuuksista, kuten kappaleessa 6.2 todettiin. Pelkän kiskon taipumalle on määritetty Ratakiskojen käsittely työmaalla –ohjeistuksessa (Ratahallintokeskus 1998) kiskolle 60E1 sivusuuntaiseksi taipumarajaksi 130 mm yhden metrin matkalla. Nostojen aikana tuleekin varmistua, että tämä raja ei ylity eli esimerkiksi 600 mm pölkkävälissä kisko saa taipua enimmillään 78 mm. Pystysuunnassa vastaava raja on 22 mm yhden metrin matkalla, joten voidaan havaita, että sivusuuntaan kisko on huomattavasti jäykempi ja sallii suurempia voimia. (Ratahallintokeskus 1998) Kiskon jäykkyys muodostuu kiskon poikkileikkauksen mitoista, jotka ovat sivusuuntaan merkittävästi suuremmat kuin pystysuuntaan ja kiskoteräksen kimmomoduulista E . Yksittäisistä radan osista kisko on selkeästi jäykin. (Nurmikolu et al. 2013)

Sivusuuntainen nostojen aikainen voima ei aiheuta vaihteessa kiskon rakenteelle vaurioita varsinkin, kun käytetään suurinta sallittua 45° kaltevuuskulmaa, joka rajoittaa poikittaissuuntaisen voiman suuruutta. Koko vaihteen rakenteen kannalta huomattavasti tärkeämpää on tarkastella kiskonkiinnitysten ja sen osien käyttäytymistä noston aikana. Erityisesti aluslevyn alle asennettavan korkkikumivälilevyn jäykkyys on merkitsevä noston aikana. Tämä osa on esitetty kuvassa 16 numerolla 9. Käytettäviä välilevyjä on pehmeitä ja jätkeä, mutta riippumatta niiden laadusta välilevyn jäykkyydellä on merkittävä rooli koko vaihteen jäykkyyden muodostamisessa. (Nurmikolu et al. 2013 ja Lichtberger 2011) Välilevyn sivusuuntaisen jäykkyyden muodostaminen on hankalaa, sillä jäykkyys vaihtelee sen mukaan kuinka paljon välilevyä kuormitetaan. Lisäksi kuormitus jakaantuu usean kiskonkiinnityksen suhteen ja välilevyn jäykkyys vaihtelee välilevyn materiaalin ja muun muassa lämpötilan mukaan. Normaalisti välilevyn jäykkyys vaihtelee 50–150 kN/mm välillä. Tämän tutkimuksen aikana selvitettiin pienin mahdollinen sivusuuntainen voima, joka välilevyssä sallitaan. Tämä arvo on 10,8 kN/mm yleisimmällä pölkkävälillä eli 600 mm. Näin ollen nostoissa sallitaan maksimissaan 6480 kN voima. (Lichtberger 2011 ja Gong 2013) Tutkimuksia vertaamalla voidaan todeta, että pääsääntöisesti poikittaissuuntainen voima nostojen aikana tulee olemaan niin pieni, että nostojen aikana siitä ei aiheudu vauriota mihinkään vaihteen rakenteeseen. Nostossa voitaisiin rakenteen puolesta käyttää jopa suurempia kuin 45° asteen kulmia. Kulmaa rajoittamalla voidaan varmistaa kuitenkin myös työturvallisuus ja nostoapuvälineiden vaurioitumattomuus, joten sen nostojen aikana tulee pysyä sallituissa rajoissa.

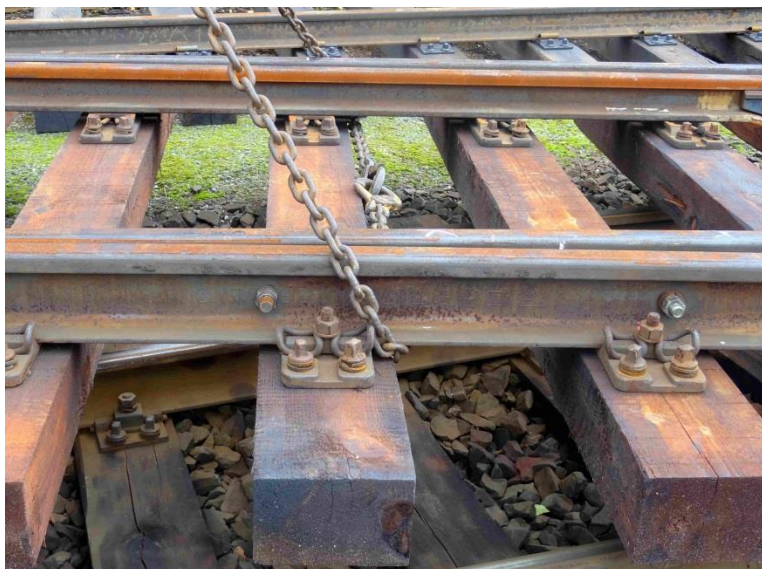
Aiemmin tutkittiin nostoraksin kiinnityksen aikaista sijaintia pölkkyvälissä, mutta tämän lisäksi on otettava huomioon myös mihin kohtaan kiskoa nostovoima kohdistuu. Kappaleessa 5.3 esiteltiin jo rajoitukset mitä eri ohjeistukset esittävät kiristävässä nostossa nostoapuvälineiden kiinnitystavoille, jotta nostot säilyisivät työntekijöille turvallisina. Vaihde-elementin noston yhteydessä tulee kuitenkin ottaa huomioon myös kiskon mahdollinen vaurioituminen. Kuvassa 71 on esitelty miten eri kiinnitystavat vaikuttavat kiskoon kohdistuvien voimien syntymiseen nostojen aikana.



Kuva 71. Epäsuotuisan taivutuksen syntyminen nostojen yhteydessä (Steelconstructions 2015)

Nostovoiman lähtiessä kiskon keskeltä (kuvassa 71 vihreä nuoli) kiskoon syntyy tämän voiman aiheuttaman poikittaissuuntaisen voimankomponentin aiheuttamaa taivutusta. Tämän voiman maksimiarvoksi todettiin 6480 kN. Tilanteessa ei kuitenkaan synny pystysuuntaista taivutusta. Vastaavasti voiman vaikuttaessa kiskon takaa kohdistuu kiskoon vaakasuuntaisen voimankomponentin aiheuttaman taivutuksen lisäksi myös pystysuuntaisen voimankomponentin aiheuttamaa taivutusta. Tämä tilanne on kuvaan merkattu punaisilla nuolilla. (Kerokoski 2015) Punaisilla nuolilla havainnollistettu tilanne voi olla erittäin kriittinen kiskon kunnolle varsinkin kielisovituselementtiä nostettaessa, sillä kielikiskon tukikiskon poikkileikkausprofiili on koneistettu. Toisin sanoen kielikiskon tukikiskon poikkipinta-ala vaihtelee, mikä vähentää sen taivutusvastusta. Tässä tutkimuksessa on aiemmin viitattu nostopalkin käyttöön kielisovituselementissä ja tätä nostoapuvälinettä tulee käyttää juuri kyseisen ongelman välttämiseksi. Nostopalkin avulla kaikki voimat saadaan kohdistettua palkille kiskoja sijaan. Tärkeää olisi kuitenkin myös muiden elementtien kohdalla kiinnittää huomiota, mihin kohtaan vaihde-

elementtiä nostoapuvälineet kiinnitetään ja miten eri kiinnitystavoilla saatetaan aiheuttaa kiskon kunnon kannalta vakaviakin vaurioita. Varsinkin kuvan 72 mukaista kiinnitystapaa tulee välttää. Kuvan kiinnityksessä voimat kohdistuvat kiskon takaa aiheuttaen tukikiskon taivutusta. Lisäksi kuvassa voidaan havaita nostoapuvälineen olevan suoraan pölkkyä ja kiskonkiinnitystä vasten.



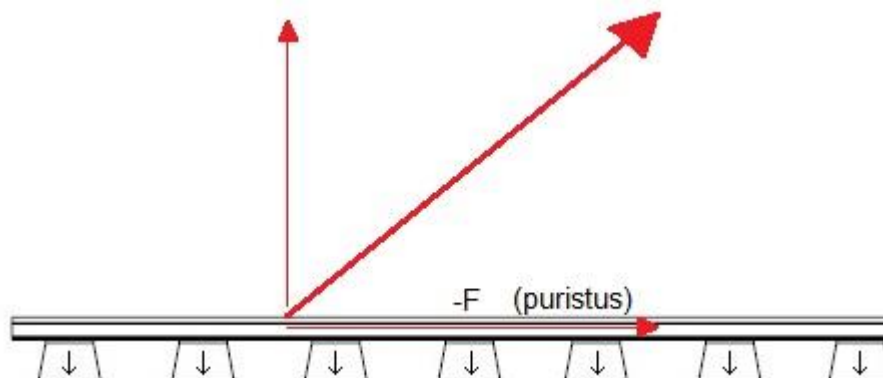
Kuva 72. Nostoapuvälineiden huono kiinnitystapa vaihde-elementtiin.

Nostoapuvälineiden väärällä kiinnitystavalla voidaan siis aiheuttaa kiskoon kohdistuviin vaakasuuntaisten ja pystysuuntaisten voimien aiheuttamaa taivutusta. Lisäksi nostossa voi tällöin syntyä vääntöä. Vääntö aiheutuu kappaleen sisäisten voimasysteemien aiheuttamista momenteista. Nostoapuvälineet pyrkivät hakeutumaan nostettaessa sellaiseen asentoon, että nostosta aiheutuva voima kulkisi kiskon vääntökeskiön kautta. Vääntökeskiö on tässä tilanteessa samassa pisteessä kuin kiskon symmetria-akseli. Kuvan 71 avulla havainnollistettu ongelma esiintyy vain silloin, kun nostovoima jostain syystä vaikuttaa kiskon takaa, eikä nostoapuväline pääse hakemaan sijaintiansa vääntökeskiön suhteen. (Salmi 2005) Ongelman yhtenä ratkaisuna olisi oikeanlaisen kiinnitystavan lisäksi pienen kitkan omaavien nostoapuvälineiden esimerkiksi teräsvaijerien käyttö. Teräksien välinen kitka on pieni, noin 0,12. Näin nostoapuvälineet hakeutuvat vääntökeskiön suhteen optimaaliselle paikalle. (Seppänen et al. 2000 ja Kerokoski 2015) Ongelmana pienen kitkan omaavien nostoapuvälineiden käytössä on kuitenkin se, että tällöin ne pääsevät helposti myös liukumaan kiskonkiinnitystä vasten, joten niiden kiskon suuntainen liike tulisi estää.

6.3.2 Kiskon suuntainen puristus

Nostovoiman sijainti vaikuttaa poikittaissuuntaisten voimien lisäksi myös elementtiin kohdistuviin kiskonsuuntaisiin eli pituussuuntaisiin voimiin. Nostovoiman sijainnilla voidaan nähdä olevan kaksi vaikutusta. Sen ollessa kiinni pölkkyssä (eli kun kuvan 70

etäisyydet a tai b on nolla) voimat kohdistuvat suoraan kiskonkiinnitykseen, mikä käsitellään seuraavassa kappaleessa. Nostoapuvälineen ollessa pölkkyjen puolivälissä voimat aiheuttavat kiskonsuuntaisen puristavan voiman, jolloin kisko puristuu kasaan. Tällainen tilanne on havainnollistettu kuvassa 73. Kappaleessa 5.3 kerrottiin nostoapuvälineiden mahdollisuudesta luistaa noston aikana, mikä tulee ottaa myös huomioon ennen nostoa. Vaikka nostoraksi olisi kiinnitetty kiskon ympärille siten, että a on yhtä suuri kuin b , on se hyödytöntä, jos nostoraksi liukuu noston aikana pölkkyyn kiinni. Myös tästä syystä nostoapuvälineiden kiinnitykseen tulee kiinnittää huomiota.



Kuva 73. Puristusvoima kiskossa.

Lujuusopin mukaan veto ja puristus määräytyvät normaalivoiman N avulla. Kappale on tasapainossa, kun sen eri osien välille syntyy sisäisiä voimia, jotka estävät kappaleen osia erkanemasta toisistaan. (Salmi et al. 2010) Normaalivoima on resultantti poikkileikkauksen akselin suuntaisista sisäisistä voimista. Sen ollessa positiivinen ja poispäin materiaalista se aiheuttaa vetorasituksia. Voiman taas ollessa negatiivinen ja materiaaliin päin se aiheuttaa puristusrasituksia. (Salmi 2005) Materiaalia kuormitettaessa noston aikana siten, että σ on suurempi tai yhtä suuri kuin σ_y , siihen jää pysyvä muodonmuutos eli plastinen puristuma tai venymä. Tällöin vain osa kuormitusvaiheessa vaikuttavasta energiasta palautuu ja loppu vaikuttaa sisäenergian kautta materiaalin muokkautumisprosessissa. (Salmi et al. 2010) Toisin sanoen myöskään nostosta aiheutuvat puristusvoimat eivät saa aiheuttaa suurempia jännityksiä, kuin kiskon myötöraja. Tällaisen suunnittelutavan avulla jännityksen ja puristavan voiman välinen yhteys voidaan muodostaa jälleen kiskon lineaarisesta käyttäytymisestä eli kaavan 21 mukaan

$$\delta = \frac{N}{A}, \quad (21)$$

missä N on pituussuuntainen puristava voiman komponentti, joka nostosta aiheutuu. Ratakiskon poikkileikkausta merkitään symbolilla A ja jännitystä σ .

Muuttamalla kaavaa 21 voidaan määrittää suurin sallittu pituussuuntainen voima, joka nostoissa saa kohdistua kiskoon siten, että siihen ei synny pysyviä muodonmuutoksia. Suurin sallittu voima voidaan laskea kaavalla 22.

$$N_{sallittu} \leq \delta * A, \quad (22)$$

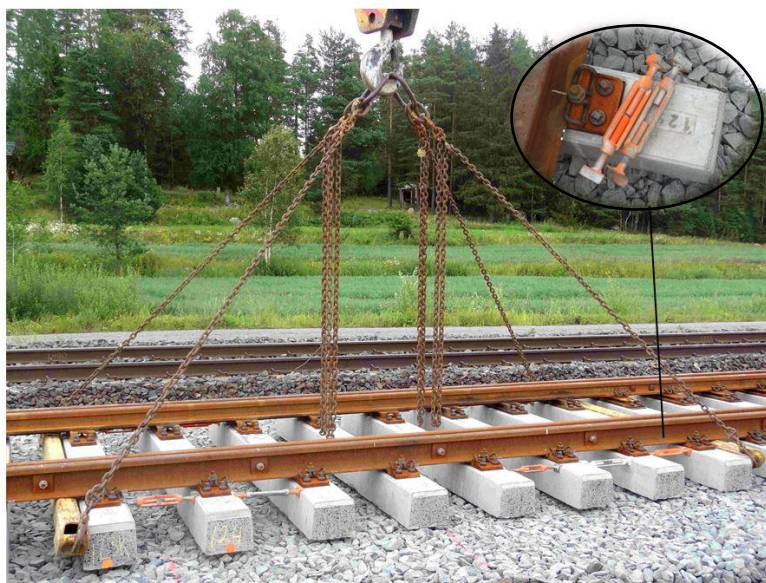
missä symbolit ovat samat kuin kaavassa 21.

Sijoittamalla kaavaan 22 taulukosta 5 kiskon myötölujuus ja kiskon poikkipinta-ala saadaan laskettua pituussuuntaiselle puristavalle voimalle maksimiksi 3300 kN. Tätä suuremmat voimat puristavat kiskoa kasaan siten, että siihen syntyy pysyvä muodonmuutos. Näin suuriin puristaviin voimiin tuskin tullaan pääsemään vaihde-elementtejä nosteltaessa optimaalisista nostoväleistä, sillä kaikkien tutkittavien vaihteiden nostamiseen tarvitaan alle 200 kN voima. Pituussuuntaiset voimat tulee kuitenkin tutkia jokaisesta sallittavasta nostoväliyhdistelmästä nostettaessa. Voidaan kuitenkin todeta, että nosto-apuvälineet tulisi aina kiinnittää suunniteltuun nostoväliin pölkkyjen puoliväliin. Näin kaikki voimat saadaan kohdistettua tasaisesti kaikille kiskonkiinnityksille ilman, että kiskoon syntyy pysyviä muodonmuutoksia.

6.3.3 Kiskon ja pölkyn välinen sijainti

Kielisovituselementissä pituussuuntaiset voimat eivät aiheuta kiskon puristusta, sillä nostot tehdään nostopalkin kanssa. Nostopalkin avulla nostossa syntyvät voiman komponentit kohdistuvat oikein käytettynä nostopalkkiin kiskon sijaan. Nostopalkin virheelinen käyttö tuo kuitenkin mukanaan uuden ongelman. Palkin käyttö siten, että se asetetaan pölkkyä vasten saattaa aiheuttaa pölkyn ja kiskon välisen sijainnin muuttumisen. Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella nostopalkin käyttö siten, että se ei nojaisi pölkkyä vasten, on hankalaa. Entistä haastavampaa se on silloin, kun nostovälien etäisyydet elementin painopisteestä kasvavat suureksi. Tästä syystä pituussuuntaiset voimat kielisovituselementin nostoissa tulisi aina selvittää.

Kappaleessa 3.1.3 todettiin, että yhden kiskonkiinnityksen läpivetovastus on 9 kN. Yksittäinen pölkky on kiinni suurimmassa osassa kielisovituselementin kiskoja neljällä kiskonkiinnityksellä, joten yhtä pölkkyä kohden saisi näin ollen kohdistua yhteensä maksimissaan 36 kN suuruinen pituussuuntainen voima. Tämä voima on aina yhtä suuri riippumatta siitä, kuinka painava elementti on tai mistä nostovälistä sitä nostetaan, koska kielisovituselementissä vain tukikiskot ovat koko matkaltaan kiinni kaikissa pölkkyissä. Kielisovituselementin nostojen apuna käytetäänkin niin kutsuttuja vanttiruuveja taasaamaan voimia useammalle pölkylle. Vanttiruuvi ja sen käyttö elementissä on esitelty kuvassa 74.



Kuva 74. Kielisovituselementin nosto nostopalkin ja vanttiruuvien avulla.

Vanttiruuvien avulla saadaan teoriassa jaettua elementtiin kohdistuvat pituussuuntaiset voimat usealle eri pölkylle ja niiden kiskonkiinnityksille, kuten kuvassa 74 esitetään. Vaarana niiden käytössä kuitenkin on, että työmaalla ei tiedetä kuinka suuria pituussuuntaisia voimia nostosta aiheutuu ja vanttiruuveja on asennettu liian vähän. Toinen ongelma on, että vanttiruuvit eivät saa olla huolimattomasti kiristettyjä, sillä tällöin ne eivät jaa voimia suoraan eteenpäin vaan päästävät jonkun pölkyn ensin siirtymään. (Kerokoski 2015) Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella ongelmana vanttiruuvien käytössä on myös se, että ne ovat yleensä kiinnitettynä vaihteeseen jo vaihdehallissa ja työmaalla ei ole saatavilla ylimääräisiä vanttiruuveja. Vaihdehallissa nosto pystytään tekemään huomattavasti pidemmällä nostoraksien pituuksilla tai paremmilla nostotavoilla. Näin vaihde-elementtiin ei hallissa kohdistu yhtä suuria pituussuuntaisia voimia kuin työmaalla, jossa ajolangat ja nostolaite rajoittavat työskentelytilaa. Vaihdehallissa ei siis välttämättä tarvitse jakaa voimia niin monelle pölkylle kuin mitä työmaalla, jolloin niihin voi olla työmaan kannalta asennettuna liian vähän vanttiruuveja. Oikein käytettynä vanttiruuvien avulla saadaan kuitenkin jaettua voimat niin monelle pölkylle kuin on tarpeen (Kerokoski 2015). Esimerkiksi kuvan 74 tilanteessa painopisteen vasemmalla puolella pituussuuntaiset voimat on jaettu kolmelle pölkylle ja oikean puolen voimat neljälle pölkylle. Tällä tavalla vasenpuoli erikseen sallii 108 kN pituussuuntaisen voiman ja oikeapuoli vastaavasti 144 kN pituussuuntaisen voiman.

Kielisovituselementin nostojen yhteydessä tulisikin tutkia aina erityisesti pituussuuntaiset voimat, jotta osataan varautua työmaalla oikealla määrällä vanttiruuveja. Tässä tutkimuksessa selvitetään suurimmat mahdolliset pölkkyyn kohdistuvat voimat, jotta tiedetään riittävä vanttiruuvien määrä.

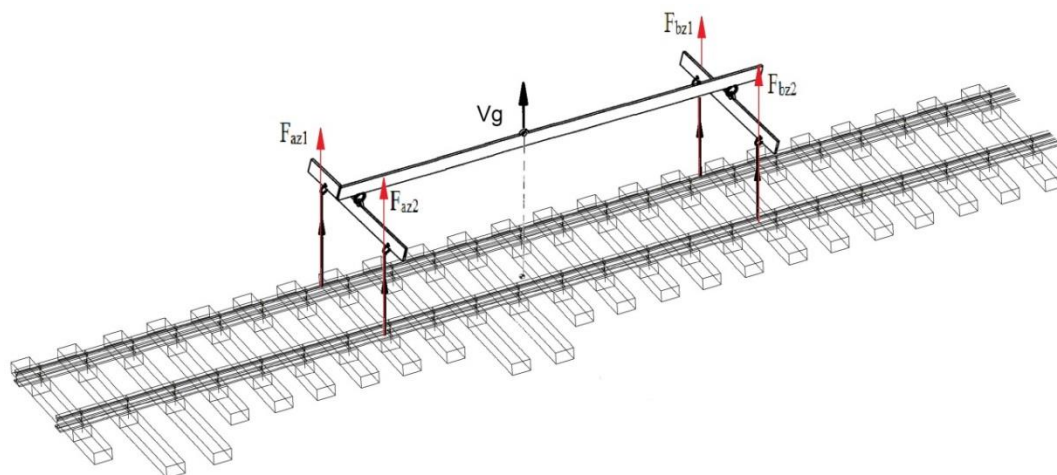
6.4 Käytettävien nostovälien aiheuttamat voimat

Nostettaessa vaihde-elementtiä määritetyistä nostoväleistä tulee taivutusmomentin lisäksi tarkistaa, minkä suuruisia ja suuntaisia voimia nostoista aiheutuu. Kaikki mahdolliset voimat, jotka nostoissa voivat syntyä, esiteltiin kappaleessa 5.4. Kappaleessa 6.3 esiteltiin merkittävimmät näiden voimien mahdollisesti aiheuttavat vauriot. Nostopisteiden valintatavoiksi on esitetty tämän tutkimuksen aikana kahta eri toimintamallia. Joko nostopisteet myös tulevaisuudessa merkataan jo vaihdehallissa elementteihin tai ne määritetään erikseen jokaiselle työmaalle. Jos tulevaisuudessa päädytään työmaakohtaiseen määrittystapaan, vähintään kaikki tässä tutkimuksessa esiintyvät suunnitteluperusteet tulee selvittää aina työmaakohtaista nostoa suunniteltaessa. Tässä kappaleessa on tarkoitus tutkia suurimmat voimat mitä eri nostotavoilla elementteihin kohdistuu, kun niitä nostetaan aiemmin ehdotetuilla nostotavoilla määritetyistä nostoväleistä. Tarkastelun avulla on tarkoitus rajata pois ne nostovälit, joista nostettaessa muodostuu niin suuria voimia, että ne voivat aiheuttaa vaihde-elementin rakenteeseen vaurioita. Tällä tavalla saadaan muodostettua nostovälit, jotka soveltuvat kaikille nostotavoille. Juuri tässä kappaleessa esitetyt nostovälit voidaan jatkossa merkitä vaihdehalleilla etukäteen vaihde-elementteihin, jolloin niissä otetaan työmaaolosuhteet huomioon. Tässä kappaleessa selvitettävät nostovälit soveltuvat siis kaikille kappaleessa 5.6 esitetyille nostotavoille ajolankojen alla työskenneltäessä.

Syntyvien voimien suuntiin ja suuruuteen vaikuttavat valittujen nostovälien lisäksi nostotyössä käytettävä nostotapa. Kappaleessa 5.6 nostotavat jaoteltiin sen mukaan millaisia voimia niistä kohdistuu elementille. Eri nostotavoista rajataan pois vaihtoehto, jossa on mahdollisuus, että vain kaksi nostohaaraa kannattelee kuormaa, sillä tässä nostotavassa on uhattuna sekä vaihde-elementin että työntekijöiden turvallisuus. Voimat tulee määrittää erikseen jokaiselle mahdolliselle nostotavalle kaikista mahdollisista nostoväleistä. Tärkeintä on etsiä suurimmat mahdolliset voimat, sillä jos nämä voimat sallivat noston, muissakin nostotavoissa voimat jäävät riittävän pieniksi.

6.4.1 Pystysuuntainen voima

Nostoissa vaihde-elementtiin kohdistuva pystysuuntainen voima aiheuttaa kappaleessa 6.2 tarkastellun taivutuksen, jota ei voida nostotoissa välttää. Käytännössä taivutusta syntyy vaihde-elementtien nostoissa aina, tosin vaihtenvaihtokoneella se saadaan erittäin pieneksi. Optimitilanteessa nostot tulisi tehdä aina siten, että nostoista ei aiheutuisi mitään muita voimankomponentteja kuin pystysuuntaisia voimia. Kappaleessa 5.6 esitetyistä nostotavoista vain yhdellä tavalla pystytään täysin välttämään muut kuin pystysuuntaiset voimankomponentit. Tämä nostotapa on kuvassa 75. Voimia syntyy neljään eri kohtaan. Tutkimuksessa käytettävät symbolit on määritelty aiemmin siten, että jokaiseen eri kiinnityskohtaan kohdistuvia voimia pystytään tarkastelemaan erikseen.



Kuva 75. Nostovoimat elementin eri kohdissa (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011 ja Semtu Oy 2012).

Kuvan tilanne on nostojen kannalta optimi. Tässä tilanteessa käytettäessä nostopalkkia kiskojen alla siten, että se pysyy pölkkyjen puolivälissä, ei elementtiin kohdistu muuta räsistystä kuin taivutusta. Optiminostoväleistä tällä tavalla vaihde-elementtiä nostettaessa pystytään minimoimaan kaikki elementtiin kohdistuvat vauriot, joten käsittelymenetelmänä se olisi aina vaihteille kaikkein suotuisin.

Kuvan 75 mukaisella nostotavalla työskenneltäessä syntyy taulukoiden 15 ja 16 suuruisia pystysuuntaisia voimia vaihteen YV60-300-1:9 eri elementteihin. Taulukon arvot on laskettu kappaleessa 5.4.1 esitellyillä kaavoilla 11 ja 12.

Taulukko 15. Vaihteen YV60-300-1:9 kielisovituselementtiin kohdistuvat pystysuuntaiset voimat.

YV60-300-1:9 Kielisovituselementti					
Nostoväli		Pystyvoima		Pystyvoima	
a	b	F_a		F_b	
		F_{a1}	F_{a2}	F_{b1}	F_{b2}
1-2	16-17	20	40	49	95
	17-18	23	46	46	90
	18-19	26	51	43	84
	19-20	28	56	41	80
3-4	16-17	23	46	45	89
	17-18	27	52	42	83
	18-19	29	58	39	77
	19-20	32	63	37	72
4-5	16-17	25	50	43	85
	17-18	29	56	40	79
	18-19	32	62	37	73
	19-20	34	67	35	68
5-6	16-17	28	54	41	81
	17-18	31	61	38	74
	18-19	34	67	35	68
	19-20	37	72	32	63
6-7	16-17	30	60	38	75
	17-18	34	67	35	68
	18-19	37	72	32	63
	19-20	39	77	29	58
7-8	16-17	34	67	35	69
	17-18	37	73	31	62
	18-19	40	79	29	56
	19-20	43	84	26	51

Kielisovituselementtiin kohdistuvista voimista voidaan havaita, että ne jakautuvat epätasaisesti eri nostoapuvälineen haaroille. Kielisovituselementin nostossa tämä tulee ottaa huomioon varsinkin oikeaa nostoapuvälinettä valittaessa, jotta sen lujuusominaisuudet ovat riittävät. Taulukon arvojen perusteella mitään nostovälejä ei kuitenkaan tarvitse rajata pois käytöstä, sillä missään kohdin ei ole vaarana, että kuorma kohdistuisi pääasiallisesti vain tietyille tai tietyille haaroille.

Välikiskoelementissä ja risteysselementissä voimat kohdistuvat vastaavasti eri puolen molemmille nostoapuvälineen haaroille tasaisesti. Verrattuna kielisovituselementtiin ero johtuu siitä, että kielisovituselementissä painopisteen paikka ei ole pölkkyjen suunnassa keskellä. Näin ollen toisen puolen nostohaarat ovat lähempänä painopistettä kuin toiset ja niihin kohdistuu suurempi voima. Taulukossa 16 on esitetty saman vaihteen välikiskoelementissä ja risteysselementissä syntyvät nostavat voimat.

Taulukko 16. YV60-300-1:9 risteysselementtiin ja välikiskoelementtiin kohdistuvat pystysuuntaiset voimat

YV60-300-1:9 Risteysselementti						YV60-300-1:9 Välikiskoelementti					
Nostoväli		Pystyvoima yhteensä [kN]		Pystyvoima yhteensä [kN]		Nostoväli		Pystyvoima [kN]		Pystyvoima [kN]	
a	b	F _a		F _b		a	b	F _a		F _b	
		F _{a1}	F _{a2}	F _{b1}	F _{b2}			F _{a1z}	F _{a2z}	F _{b1z}	F _{b2z}
45-46	56-57	40	40	42	42	24-25	38-39	31	31	72	72
	55-56	36	36	46	46		39-40	36	36	68	68
	54-55	31	31	51	51	25-26	38-39	34	34	70	70
	53-54	25	25	58	58		39-40	39	39	65	65
	52-53	17	17	66	66		40-41	43	43	61	61
	51-52	6	6	77	77	26-27	38-39	36	36	67	67
46-47	56-57	44	44	38	38		39-40	42	42	62	62
	55-56	40	40	42	42		40-41	46	46	58	58
	54-55	35	35	47	47		41-42	50	50	54	54
	53-54	28	28	54	54	27-28	38-39	40	40	64	64
	52-53	19	19	63	63		39-40	45	45	59	59
	51-52	7	7	76	76		40-41	50	50	54	54
47-48	56-57	49	49	33	33		41-42	53	53	50	50
	55-56	45	45	37	37	28-29	42-43	57	57	47	47
	54-55	40	40	42	42		38-39	44	44	60	60
	53-54	33	33	49	49		39-40	49	49	55	55
	52-53	23	23	59	59		40-41	54	54	50	50
	51-52	8	8	74	74	29-30	41-42	57	57	46	46
48-49	56-57	56	56	27	27		42-43	61	61	43	43
	55-56	52	52	31	31		43-44	64	64	40	40
	54-55	47	47	36	36	30-31	38-39	48	48	55	55
	53-54	40	40	43	43		39-40	54	54	50	50
	52-53	29	29	53	53		40-41	59	59	45	45
	51-52	11	11	71	71		41-42	62	62	41	41
49-50	56-57	64	64	19	19		42-43	65	65	38	38
	55-56	61	61	22	22	30-31	43-44	68	68	35	35
	54-55	56	56	26	26		38-39	55	55	49	49
	53-54	50	50	33	33		39-40	60	60	44	44
	52-53	39	39	44	44		40-41	64	64	39	39
	51-52	17	17	66	66		41-42	68	68	36	36
50-51	56-57	74	74	8	8	30-31	42-43	71	71	33	33
	55-56	73	73	10	10		43-44	73	73	30	30
	54-55	70	70	12	12						
	53-54	66	66	16	16						
	52-53	58	58	24	24						
	51-52	34	34	49	49						

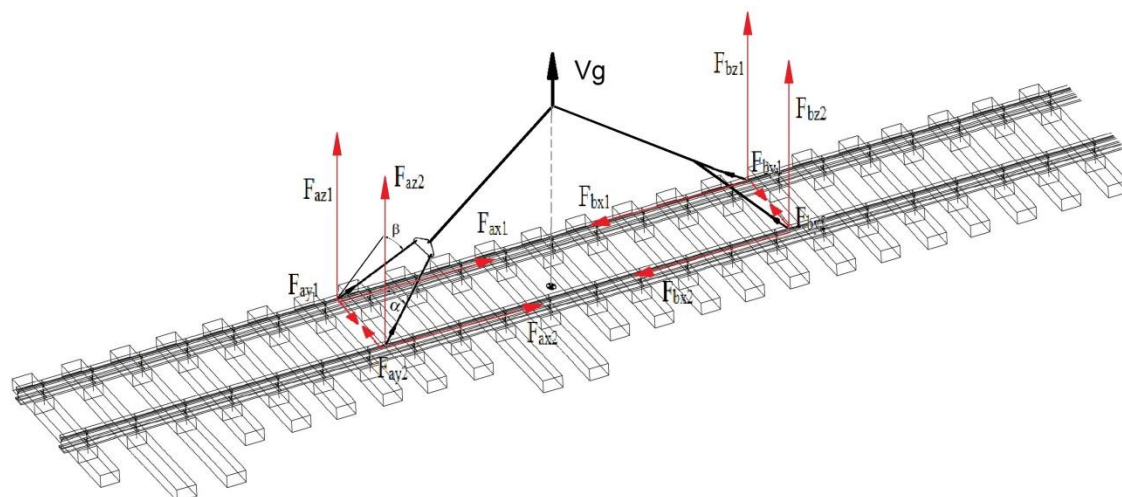
Kappaleessa 5.4.1 kerrottiin, että nostoissa voimien tulisi jakautua mahdollisimman tasaisesti kaikille nostoraksin haaroille. Taulukon 16 perusteella näin ei kuitenkaan tapahdu. Varsinkin risteuselementtiä nostettaessa määritetyistä nostoväleistä osaan nostoraksien haaroista kohdistuu huomattavasti suurempi voima kuin toisiin. Kaikkein suurimmat voimien vaihtelut on merkattu taulukkoon punaisella värillä ja näistä nostoväleistä ei tulisi elementtiä nostaa. Näissä nostoväleissä voidaan havaita, että käytännössä nosto tapahtuu toiselta puolelta ja toinen puoli vain tasapainottaa nostoa. Tämä johtuu siitä, että pölkkyväli 51–52 on juuri painopisteen kohdalla. Tällä perusteella nostoa ei suositeltaisi tehtäväksi tästä nostovälistä.

Taulukoissa ilmoitetut pystysuuntaiset voimat kohdistuvat elementtiin aina nostettaessa millä tahansa nostotavalla, jos nosto tehdään kahdesta nostovälistä. Neljästä kohdasta nostettaessa voimat jakautuvat eri tavalla ja tällaiset tilanteet tulee tutkia erikseen. Näin ollen nämä voimat syntyvät kaikissa muissakin nostotavoissa ja muut voiman komponentit syntyvät nostotavasta riippuen tähän lisänä. Tästä syystä voidaan pitää optimaalisimpana nostotapana sellaista menetelmää, missä ei synny kuin pystysuuntaisia voimia. Kuvassa 75 on esitelty vain yksi tapa, miten nosto voidaan tehdä niin, että elementtiin kohdistuu vain nostava voima. Todellisuudessa nostopuomisyhteelmät voidaan tehdä monia erilaisia. Pystysuuntaisen voiman myötä käytettävistä nostoväleistä ei tarvitse rajata kuin yksi pois ja tämäkin lähinnä työturvallisuussyistä; mitään suurta vaaraa sillä ei elementin kunnolle ole. Huomionarvoista on myös todeta, että nostovoimat jakautuvat tasaisimmin juuri elementin optiminostovälejä käytettäessä, mistä johtuen elementtiin kohdistuva taivutus on näissä nostoväleissä pienin.

6.4.2 Pituussuuntainen voima

Nostoissa syntyvistä voimista vaihde-elementin kannalta vaarallisimpia ovat kiskoon ja pölkkyyn kohdistuvat pituussuuntaiset voimat. Pituussuuntaisia voiman komponentteja kohdistuu vaihde-elementtiin nostotavassa, jossa käytetään kuormantasaajia. Tällä nostotavalla myös voiman komponentit ovat mahdollisimman suuria. Nostotapa on esitelty kuvassa 76. Pituussuuntaisia voimankomponentteja syntyy myös liian lyhyttä nostopuomia käytettäessä ja vaihde-elementin pituussuuntaisissa siirroissa.

Laskemalla kuvassa 76 syntyvät pituussuuntaiset voimat eli kuvaan merkatut voimat F_{ax1} , F_{ax2} , F_{bx1} ja F_{bx2} saadaan selvitettyä suurimmat mahdolliset pituussuuntaiset voimat, jotka kohdistuvat vaihde-elementteihin, sillä muissa nostotavoissa pystytään rajaamaan voimia pienemmiksi tai poistamaan ne kokonaan.



Kuva 76. Pituussuuntaiset nostoista aiheutuvat voimankomponentit (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011 ja Semtu Oy 2012).

Pituussuuntaisten voimien suuruus muotoutuu täysin sen mukaan, kuinka pitkiä nostorakseja työssä käytetään. Nykyinen ohjeistus määrää, että nostoraksin ja pystysuoran välinen kulma ei saa olla suurempi kuin 35° . (Liikennevirasto 2007) Tämän rajoituksen tarkoitus on estää kiskon ja pölkyn välisen voiman kasvaminen liian suureksi (Viitala 2015). Kuvan 76 tilanteessa voimia pystyttäisiin rajoittamaan pidentämällä nostoraksien pituuksia. Tässä vaiheessa tutkimusta halutaan kuitenkin selvittää suurimmat mahdolliset voimat, joten voimat tutkitaan sallittavan kulman 35° avulla. Toisaalta vaihteen vaihtotyömaalla ajolangat myös rajoittavat työskentelytilaa, jolloin etäisyyksiä ei pystytäkään pidentämään. Tähän palataan tutkimuksessa myöhemmin.

Kielisovituselementin nostossa pituussuuntainen voima voi aiheuttaa pölkyn ja kiskon välisen sijainnin muuttumista. Kielisovituselementti tulee aina nostaa nostopalkkia käyttämällä, jotta koneistettu tukikisko ei taivu. Nostopalkin käytön riskinä on kuitenkin se, että palkki siirtyy hyvin usein pölkkyä vasten. Tällaisessa tilanteessa pituussuuntaiset voimat kohdistuvat suoraan pölkkyyn. Taulukkoon 17 on koottu kaikki voimat, jotka kohdistuvat vaihteen YV60-300-1:9 kielisovituselementtiin edellisessä kappaleessa muodostetuista nostoväleistä nostettaessa. Voimat on laskettu suurimman sallitun 35° kulman mukaisesti. Taulukossa olevat pituussuuntaiset voimat ovat suurimmat mahdolliset voimat, joita jokaisessa nostovälivariaatiossa sallituissa olosuhteissa syntyy.

Taulukko 17. Vaihteen YV60-300-1:9 kielisovituselementtiin kohdistuvat pituussuuntaiset voimat eri nostovälejä käytettäessä.

YV60-300-1:9 Kielisovituselementti					
Nostoväli		Pituussuuntainen voima [kN]		Pituussuuntainen voima [kN]	
a	b	F _a		F _b	
		F _{a1}	F _{a2}	F _{b1}	F _{b2}
1-2	16-17	12	23	28	55
	17-18	13	26	26	51
	18-19	15	29	25	48
	19-20	16	32	23	46
3-4	16-17	13	26	26	51
	17-18	15	30	24	47
	18-19	17	33	23	44
	19-20	18	36	21	42
4-5	16-17	15	29	25	49
	17-18	16	32	23	45
	18-19	18	36	21	42
	19-20	20	38	20	39
5-6	16-17	16	31	24	46
	17-18	18	35	22	42
	18-19	20	38	20	39
	19-20	21	41	19	36
6-7	16-17	17	34	22	43
	17-18	19	38	20	39
	18-19	21	42	18	36
	19-20	23	44	17	33
7-8	16-17	19	38	20	39
	17-18	21	42	18	35
	18-19	23	45	16	32
	19-20	24	48	15	30

Taulukon avulla voidaan havaita, että ilman vanttiruuvien käyttöä ei voida tutkittavalla nostotavalla nostaa vaihde-elementtiä mistään nostovälistä. Kielisovituselementtiä nostettaessa aina vähintään toisella puolella elementtiä syntyy suurempi yhteenlaskettu pituussuuntainen voima kuin mitä on suurin sallittu 36 kN voima. Kuvaan vihreällä merkityssä nostovälissä syntyy pienin ja punaisella merkatussa suurin yhteenlaskettu pituussuuntainen voima. Taulukon avulla voidaan todeta, että vanttiruuvien käyttö nostoissa on erittäin keskeinen ja ilman niitä kielisovituselementtiä ei voida nostaa. Taulukon perusteella voidaan myös todeta, että käyttämällä vanttiruuveja voidaan elementti nostaa jokaisesta määritetystä nostovälistä.

Työmaalla tulisi aina olla vanttiruuveja niin paljon, että voimat saadaan tasattua riittäväälle määrälle pölkkyyä. Vaihteen YV60-300-1:9 kielisovituselementin kohdalla voimat pitää pystyä jakamaan yhdestä neljälle pölkylle riippuen siitä, millaisia nostovälejä päätetään käyttää. Vaihdehalleilla käytyjen keskustelujen (Pulliainen 2015) mukaan, vaihde-elementtien pölkkyt ovat monesti siirtyneet kiskoihin nähden. Usein tällaisessa tilanteessa ensimmäinen siirtyvä pölkky vie mukanaan useita muitakin pölkkyyä. Työmaalla olisikin hyvä olla aina ylimääräisiä vanttiruuveja mukana. Lisäksi niiden kiinnittäminen tulisi aina kiinnittää riittävää huomiota.

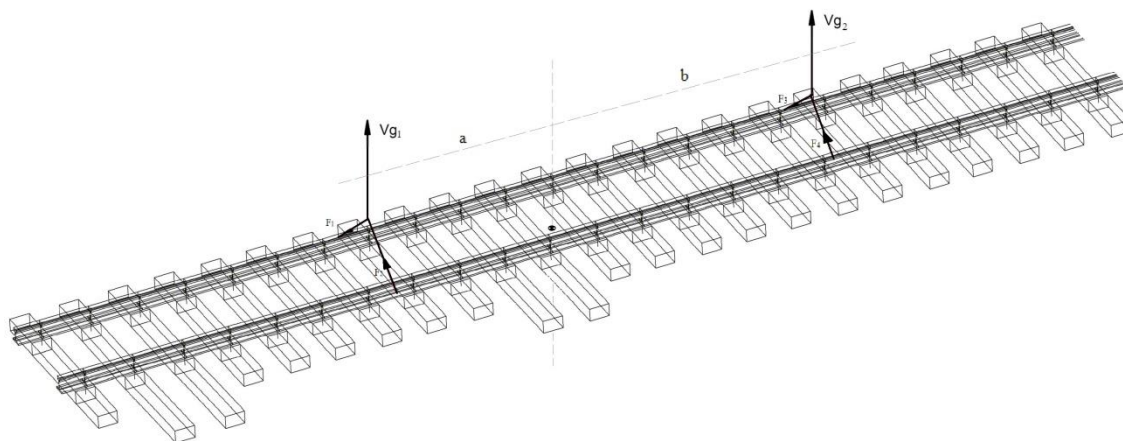
Paras mahdollinen nosto saavutettaisiin siten, että kiskoon asennettaisiin laite, joka estäisi kokonaan nostopalkin siirtymisen pölkkyä vasten. Tämän laitteen avulla pystyttäisiin täysin välttämään myös vanttiruuvien käyttö, mutta ennen kaikkea sen avulla pystyttäisiin turvaamaan pölkkyjen sijainti kiskoon nähden. Lisäksi tällaisen laitteen avulla voitaisiin käyttää mahdollisimman pienikitkaista nostoapuvälinettä, jolloin se vähentäisi myös kiskon vääntöä, kuten kappaleessa 6.3.1 todettiin. Laskettujen voimien perusteella kielisovituselementin noston kannalta oleellista on kuitenkin se, että mitään nostovälejä ei tarvitse rajata pois, vaan kaikkia voidaan käyttää oikealla määrällä vanttiruuveja.

Nostettaessa välikiskoelementtiä ja risteuselementtiä kiskon ympäri tehtävässä kiristävässä nostossa syntyy kiskoon kohdistuvia puristavia voimia sen sijaan, että voimat kohdistuisivat pölkkyyn. Tämä johtuu siitä, että kiristävässä nostossa nostoapuvälineet kiinnitetään kiskon ympäri. Tästä aiheutuva kiskon puristus on tutkittu kappaleessa 6.3.2, jossa todettiin, että pysyviä muodonmuutoksia ei kiskossa synny, jos pituussuuntainen voima on alle 3300 kN. Toisin sanoen muodostetuista nostoväleistä tulee karsia kaikki ne välit pois, joista nostettaessa pituussuuntainen voima nousee yli 3300 kN kiskoa kohden. Liitteessä B on taulukoitu kaikki mahdolliset pituussuuntaiset voimat, jotka tutkittavan vaihteen eri nostoväliyhdistelmillä syntyy välikisko- ja risteuselementeissä. Voimat on laskettu kappaleessa 5.4 esitetyn kaavan 8 avulla sijoittamalla siihen taulukosta 16 nostossa syntyvät pystysuuntaiset voimat. Laskennassa on käytetty hyväksi jälleen suurinta sallittua 35° kulmaa. Taulukosta havaitaan, että suurin pituussuuntainen välikiskoelementtiin kohdistuva voima on 42 kN. Risteuselementistä rajattiin aiemmin nostoväli 51–52 pois, joten suurin risteuselementtiin kohdistuva pituussuuntainen voima on 38 kN. Tuloksien perusteella voidaan todeta, että näistä kahdesta elementistä ei tarvitse pituussuuntaisen voiman takia karsia yhtään nostoväliä pois. Toisaalta voimista havaitaan myös, että millään vaihde-elementin nostosta aiheutuvalla voimalla ei voida aiheuttaa 3300 kN voimaa, joten kiristävässä nostossa ei välttämättä tarvitsisi käyttää edes 35° kulmaa. Kulman rajaamisella 35° pystytään kuitenkin myös osaltaan varmistamaan, että nostoraksi pysyy pölkkyjen puolivälissä noston aikana eikä luisu kiskon kiinnitystä vasten.

Vertaamalla liitteen B taulukkoja pystysuuntaisten voimien taulukkoon 16 havaitaan, että mitä suurempi on nostovälin käytössä syntyvä pystysuuntainen nostovoima, sitä suurempi pituussuuntainenkin voima vaihde-elementtiin kohdistuu. Tästäkin syystä nostoissa tulisi aina pyrkiä käyttämään optiminostovälejä, sillä tämä on paras keino minimoida myös pituussuuntaisia voimia. Toisaalta tulee muistaa, että kielisovituselementissä elementtiin kohdistuva taivutus ei ole nostovälejä rajaavin tekijä, vaan merkittävimpänä rajaavana tekijänä on kielien kärkien taivutus. Välikisko- ja risteuselementtiin kohdistuvien pituussuuntaisten voimien takia ei kuitenkaan tarvitse rajata mitään nostovälejä pois käytöstä.

6.4.3 Poikittaissuuntainen voima

Poikittaissuuntaisia voimia syntyy kaikilla muilla nostotavoilla, paitsi pystyvoimien kohdalla käsitellyssä optiminostotavassa eli kuvassa 75. Poikittaissuuntaisia voimia syntyy nostettaessa kahdella nostolaitteella, paitsi jos nostossa käytetään nämä voiman komponentit rajaavaa nostopuomia apuna. Voimat aiheuttavat vetoa kiskossa ja voivat aiheuttaa pahimmillaan myös kiskon taivutusta. Poikittaissuuntaiset voimat on esitelty kappaleessa 5.4 ja niistä mahdollisesti aiheutuvat vauriot kappaleessa 6.3.1. Poikittaissuuntaisten voimien suuruus voidaan laskea kaltevuuskulman β avulla. Tässä kappaleessa käytetään niiden tutkimisessa esimerkkinä kahden nostolaitteen nostotapaa, mikä on kuvassa 77 ja kuvan 76 nostotapaa. Kahden eri nostotavan vertailu johtuu siitä, että kun nostossa syntyy poikittaivoimien lisäksi pituussuuntaisia voimia, nousevat ensin mainitut voimat suuremmiksi.



Kuva 77. Poikittaissuuntaisten voimien syntyminen nostettaessa kahdella nostolaitteella (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011).

Vaakasuuntaisten voimien määrittämiseksi tulee ensin selvittää, kuinka suuri voima jokaisessa kiskoon kiinnitetyssä nostohaarassa vaikuttaa. Molemmissa tutkittavissa nostotavoissa nostohaarat saavat minimissään olla yhtä pitkiä, jolloin voimia pystyttäisiin vähentämään nostohaarojen mittaa pidentämällä. Tässä vaiheessa tutkimusta pitäydytään taas alimmissa sallituissa mitoissa, jotta saadaan määritettyä suurimmat mahdolliset voimat. Kappaleessa 5.4 määritettiin, että nostoissa sallitaan suurimmillaan 45° kaltevuuskulman käyttö kiristävässä nostossa ja tätä kulmaa käytetään myös tässä tutkimuksessa. Määritetyissä nostoväleissä syntyvät voimat väliskiskoelementtiin ja risteys-elementtiin on laskettu samassa kappaleessa esitetyllä kaavalla 6 sijoittamalla siihen taulukosta 16 pystyvoimat. Molemmilla eri tavoilla syntyvät voimat nostohaaroissa ja niistä aiheutuvat poikittaissuuntaiset voimat väliskiskoelementissä on esitelty taulukoissa 18 ja 19.

Taulukko 18. Vaihteen YV60-300-1:9 väliskoelementissä syntyvät poikittaisvoimat nostettaessa nostotavalla, jossa ei synny pituussuuntaisia voimia.

YV60-300-1:9 Väliskoelementti							
Voima nostohaarassa a [kN]		Voima nostohaarassa b [kN]		Poikittaisvoimat nostohaarassa a [kN]		Poikittaisvoimat nostohaarassa b [kN]	
F_a		F_b		F_{ax}		F_{bx}	
F_{a1}	F_{a2}	F_{b1}	F_{b2}	F_{a1x}	F_{a2x}	F_{b1x}	F_{b2x}
44	44	102	102	31	31	72	72
51	51	96	96	36	36	68	68
47	47	99	99	34	34	70	70
55	55	92	92	39	39	65	65
61	61	86	86	43	43	61	61
51	51	95	95	36	36	67	67
59	59	88	88	42	42	62	62
65	65	82	82	46	46	58	58
70	70	76	76	50	50	54	54
56	56	90	90	40	40	64	64
64	64	83	83	45	45	59	59
70	70	77	77	50	50	54	54
75	75	71	71	53	53	50	50
80	80	66	66	57	57	47	47
62	62	85	85	44	44	60	60
69	69	77	77	49	49	55	55
76	76	71	71	54	54	50	50
81	81	65	65	57	57	46	46
86	86	61	61	61	61	43	43
90	90	57	57	64	64	40	40
69	69	78	78	48	48	55	55
76	76	70	70	54	54	50	50
83	83	64	64	59	59	45	45
88	88	58	58	62	62	41	41
93	93	54	54	65	65	38	38
96	96	50	50	68	68	35	35
77	77	69	69	55	55	49	49
85	85	62	62	60	60	44	44
91	91	56	56	64	64	39	39
96	96	50	50	68	68	36	36
100	100	46	46	71	71	33	33
104	104	43	43	73	73	30	30

Taulukko 19. Vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementissä syntyvät poikittaisvoimat nostettaessa nostotavalla, jossa syntyy pituussuuntaisia voimia.

YV60-300-1:9 Välikiskoelementti											
Nostoväli		Voima nostoraksissa [kN]		Voima nostohaarassa a [kN]		Voima nostohaarassa b [kN]		Poikittaisvoimat nostohaarassa [kN]		Poikittaisvoimat nostohaarassa [kN]	
a	b	F		F _a		F _b		F _{ax}		F _{bx}	
		F _a	F _b	F _{a1}	F _{a2}	F _{b1}	F _{b2}	F _{a1x}	F _{a2x}	F _{b1x}	F _{b2x}
24-25	38-39	76	177	54	54	125	125	38	38	88	88
	39-40	88	165	62	62	117	117	44	44	83	83
25-26	38-39	82	171	58	58	121	121	41	41	86	86
	39-40	94	159	67	67	112	112	47	47	79	79
	40-41	105	148	74	74	105	105	52	52	74	74
26-27	38-39	89	164	63	63	116	116	44	44	82	82
	39-40	101	152	72	72	107	107	51	51	76	76
	40-41	112	141	79	79	100	100	56	56	70	70
	41-42	122	131	86	86	93	93	61	61	66	66
27-28	38-39	97	156	68	68	110	110	48	48	78	78
	39-40	110	143	78	78	101	101	55	55	72	72
	40-41	121	132	85	85	93	93	60	60	66	66
	41-42	130	123	92	92	87	87	65	65	61	61
	42-43	139	115	98	98	81	81	69	69	57	57
28-29	38-39	107	146	75	75	104	104	53	53	73	73
	39-40	120	133	85	85	94	94	60	60	67	67
	40-41	131	122	93	93	86	86	65	65	61	61
	41-42	140	113	99	99	80	80	70	70	56	56
	42-43	148	105	105	105	74	74	74	74	52	52
	43-44	155	98	110	110	69	69	78	78	49	49
29-30	38-39	118	135	84	84	95	95	59	59	67	67
	39-40	132	121	93	93	86	86	66	66	61	61
	40-41	143	110	101	101	78	78	71	71	55	55
	41-42	152	101	108	108	71	71	76	76	50	50
	42-43	160	93	113	113	66	66	80	80	47	47
	43-44	166	87	118	118	61	61	83	83	43	43
30-31	38-39	133	120	94	94	85	85	67	67	60	60
	39-40	147	107	104	104	75	75	73	73	53	53
	40-41	157	96	111	111	68	68	79	79	48	48
	41-42	166	87	117	117	62	62	83	83	44	44
	42-43	173	80	122	122	56	56	87	87	40	40
	43-44	179	74	127	127	52	52	90	90	37	37

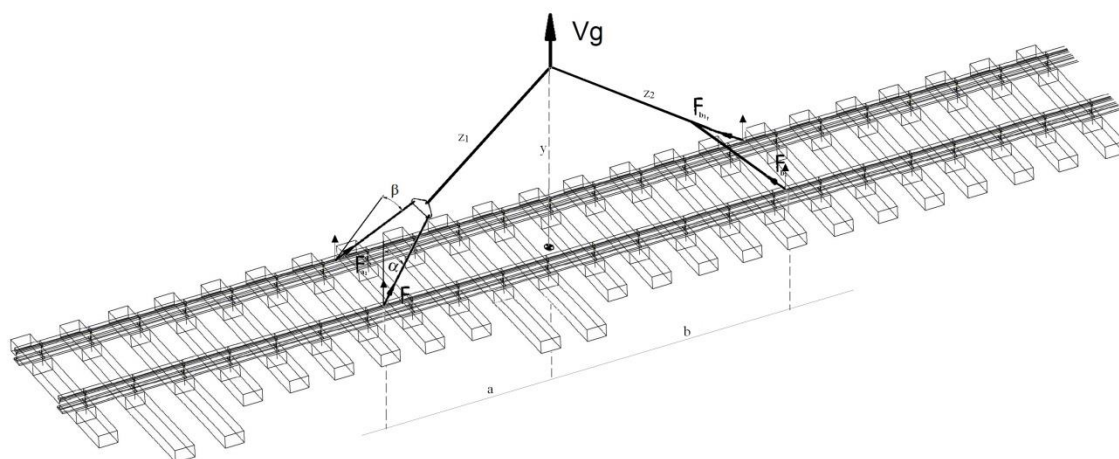
Syntyvistä voimista voidaan havaita, että suurin mahdollinen poikittaissuuntainen voima on 90 kN. Tämä jää huomattavasti suurimmasta sallitusta, joten voidaan todeta, että poikittaisvoimat eivät rajaa nostovälejä pois käytöstä. Taulukkoja vertaamalla voidaan lisäksi havaita, että nostoapuvälineen ja pystysuoran välisen kulman arvo vaikuttaa siihen, kuinka suuri voima yhteen nostohaaraan kohdistuu. Vertailemalla taulukkoja 18 ja 19 voidaan myös havaita, että nostoissa tulisi aina olla erittäin huolellinen oikeankokoisen kettingin käytöstä. Varsinkin silloin, kun nostossa syntyy myös pituussuuntaisia voimia, poikittaissuuntaisten voimien suuruudet vaihtelevat merkittävästi eri nostoväleillä. Vertaamalla taulukoiden arvoja kappaleessa 5.4 esitettyyn taulukkoon 13 nostoissa olisi hyvä käyttää yli 20 millimetrin paksuista kettinkinostoraksia, jotta voidaan varmistua nostoapuvälineiden kestävydestä kaikkien elementtien nostoissa. Lisäksi työturvallisuussyistä tulisi nostoissa käyttää enintään kappaleessa 5.4 esitettyjä kulmia.

Kielisovituselementissä syntyvät poikittaissuuntaiset voimat eivät vaikuta nostovälien valintaan, sillä kielisovituselementtiä nostettaessa voima kohdistuu aina nostopalkkiin eikä kiskoon. Risteyselementissä taas poikittaissuuntaiset voimat ovat pienempiä kuin

väliskoelementissä, joten voidaan todeta, että eri vaihde-elementtien nostoissa poikittaissuuntaiset voimankomponentit eivät rajaa nostovälejä pois käytöstä, jos elementti nostetaan tukikiskon ympäri.

6.5 Nostoraksien pituus

Nostojen aikana syntyviä poikittaissuuntaisia ja pituussuuntaisia voimankomponentteja pystytään tehokkaasti rajaamaan nostoapuvälineiden pituuksilla, kuten kappaleessa 5.4.2 esiteltiin. Tällöin nostoapuvälineiden ja vaihde-elementin väliset kulmat rajoittavat myös syntyviä voimia. Nostoapuvälineiden pituutta lisäämällä osalla nostoväleistä etäisyys pölkkyvälistä vaihteen painopisteeseen kasvaa niin suureksi, että työssä sallittuja kulmia ei pystytä käyttämään. Tämä johtuu siitä, että työskenneltäessä ajolankojen alla myös työskentelytila rajoittaa käytettävissä olevia nostovälejä. Erilaisilla nostopuomeilla tarvittavaa tilaa voidaan vähentää. Varsinkin nostotavalla, joka on esitelty kuvassa 78, tila on merkittävä rajoite selvitetäessä nostovälejä, jotka sopivat mahdollisimman monelle työmaalle. Kuvan nostotilanteeseen 78 on tuotu kuvan 49 etäisyydet. Tilanteesta voidaan ratkaista etäisyydet a , y ja nostoraksien pituudet z_1 ja z_2 .



Kuva 78. Nostoraksien pituudet nostettaessa ilman nostopuomia (muokattuna lähteestä Manolo et al. 2011 ja Semtu Oy 2012).

Etäisyydet a ja b vaihtelevat sen mukaan mitä nostoväliä käytetään. Näiden etäisyyksien pituus vaikuttaa suoraan nostoraksien pituuteen ja sitä kautta siihen, kuinka suuren korkeuden nostoapuvälineet vaativat, kun käytetään sallittua 35° kulmaa. Pituudet voidaan laskea suorakulmaisen trigonometrian avulla kuten kaavalla 13. Tarvittaessa kaavaa on muutettu siten, että on saatu selvitettyä aina eri välien pituudet. Tulokset on esitetty tälle nostotavalle taulukossa 20.

Taulukko 20. Nostoraksien pituudet nostettaessa vaihde-elementtiä ilman nostopuomia. Punaisella värillä on merkattu korkeudet, jotka ovat suurempia kuin ajolangan nimelliskorkeus.

Vaihde	Elementti	Nostoväli	Nostovälin etäisyys painopisteestä, x [mm]	Nostoraksin pituus, z_n [mm]	Vaadittava minimi korkeus nostopuuvälineitä, y [mm]
YV60-300-1:9 betonipölkkyin	kielisovitus	1-2	6302	10987	9000
		3-4	5052	8808	7215
		4-5	4452	7762	6358
		5-6	3852	6716	5501
		6-7	3252	5670	4644
		16-17	2748	4791	3925
		17-18	3348	5837	4781
		18-19	3948	6883	5638
		19-20	4548	7929	6495
	väliskisko	24-25	5892	10272	8415
		25-26	5292	9226	7558
		26-27	4692	8180	6701
		27-28	4092	7134	5844
		28-29	3492	6088	4987
		29-30	2892	5042	4130
		30-31	2292	3996	3273
		38-39	2508	4373	3582
		39-40	3108	5419	4439
		40-41	3708	6465	5296
		41-42	4308	7511	6152
		42-43	4908	8557	7009
		43-44	5508	9603	7866
	risteys	45-46	3441	5999	4914
		46-47	2821	4918	4029
		47-48	2201	3837	3143
		48-49	1581	2756	2258
		49-50	961	1675	1372
		50-51	341	595	487
		51-52	279	486	398
		52-53	899	1567	1284
		53-54	1519	2648	2169
		54-55	2139	3729	3055
		55-56	2743	4782	3917
		56-57	3343	5828	4774

Taulukon arvot on laskettu suurimmalla sallitulla nostoraksin ja pystysuoran välisellä 35° kulmalla. Samalla kulmalla on määritetty edellisissä kappaleissa voimienkin suuruudet. Taulukkoon on merkitty punaisella värillä ne pystysuorat etäisyydet, jotka kasvavat pidemmäksi kuin mitä sähköistetyllä radalla on tilaa käytettävissä. Tuloksia on siis verrattu kuvassa 50 esitettyyn ajolankojen nimelliskorkeuteen. Etäisyyksien määrittämisessä ei kuitenkaan ole otettu huomioon eri nostolaitteiden vaatimaa tilaa. Tästä syystä työmaalla tulisi aina työkohtaisesti selvittää käytettävissä olevat nostovälit. Taulukon 20 avulla voidaan rajata pois ne nostoväliyhdistelmät, jossa tila ei ole riittävä nostolaitteesta riippumatta.

6.6 Nostopisteet

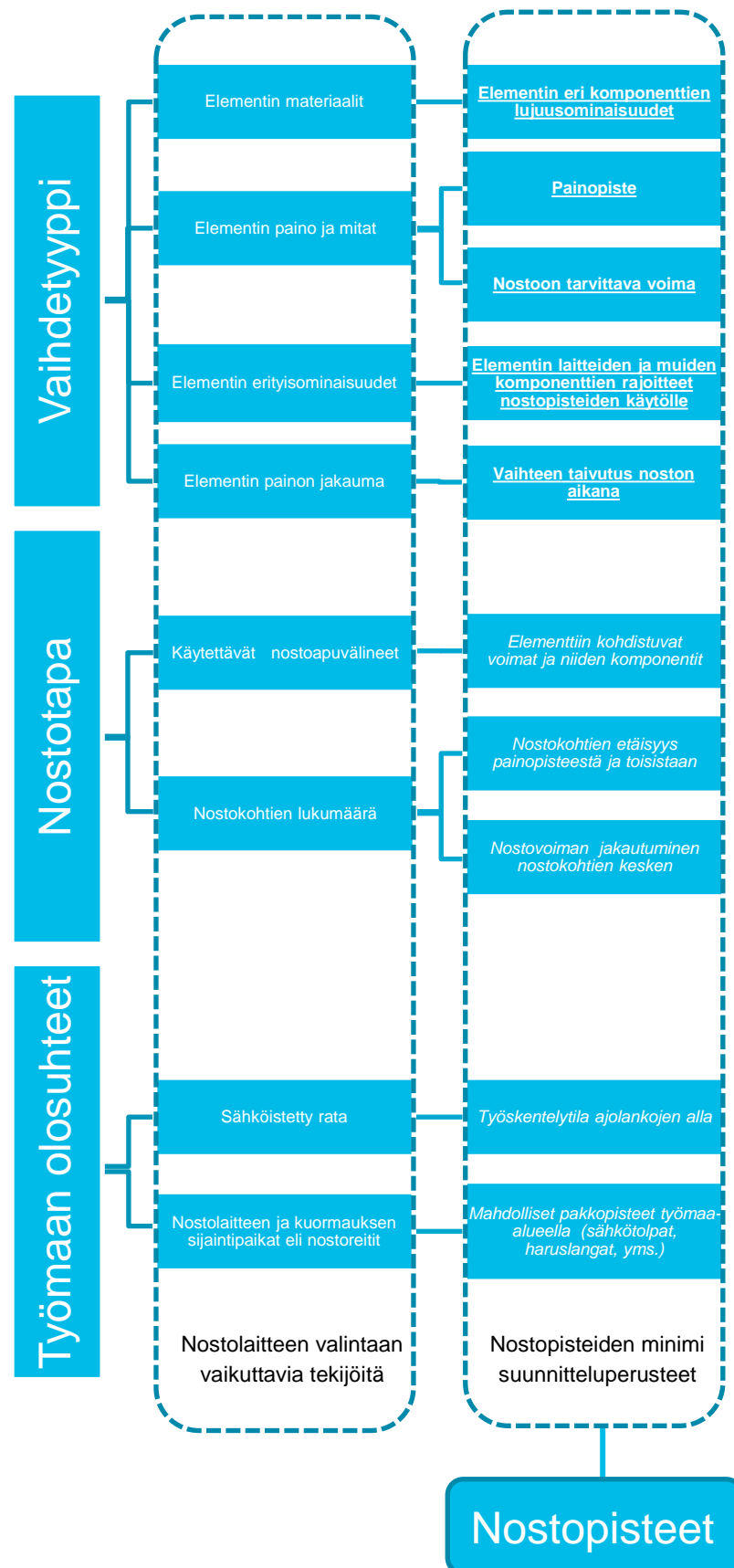
Tällä hetkellä käytännössä jokaiselle työmaalle toimitetaan etukäteen nostopisteet, joista nostot oletetaan aina tehtäväksi. Ongelmana nykyisessä toimintamallissa on, että nykyiset nostopisteet on määritetty vaihdehallia varten eikä niitä ole suunniteltu työmaolosuhteisiin. Lisäksi nostopisteet on suunniteltu vain tietyille nostotavalle eli käytännössä vaihdehallin omaa nostomenetelmää varten. Kaikilla aiemmin esitetyillä nostotavoilla ei tulisi kuitenkaan käyttää samoja pisteitä. Tämä johtuu siitä, että käytettäessä nostotapoja, joissa ei synny muita kuin pystysuuntaisia voiman komponentteja, pystytään käyttämään vaihteen rakenteen kannalta parempia nostopisteitä kuin muilla nostomenetelmillä.

Tässä kappaleessa esitetään nostopisteiden valintaan vaikuttavat tekijät ja niiden keskinäiset suhteet. Kappaleessa esitellään jatkossa käytettäväksi ehdotettavat nostopisteiden suunnittelun toimintamallit ja vertaillaan niiden hyviä ja huonoja puolia, jotta jatkossa toimintamallin valinta helpottuu. Kappaleessa myös esitellään nostopisteet tutkimuksen kohteena olleille vaihteille ja niiden eri elementeille.

6.6.1 Nostopisteiden valinta

Tutkimuksen aikana tehtyjen havaintojen perusteella vaihteen eri elementeille ei voida esittää optiminostovälejä, joista nosto tulisi aina tehdä nostotavasta ja työmaan olosuhteista riippumatta. Sen sijaan eri elementeille voidaan muodostaa nostovälit, jotka soveltuvat kaikille vaihde-elementin käsittelymenetelmille eli niin kutsutut yleisnostovälit.

Kuvassa 79 on esitetty kaavion avulla, miten tässä tutkimuksessa nostopisteet on määritetty tähän mennessä vaihteelle YV60-300-1:9. Aivan oikeaan laitaan on koottu ne suunnitteluperusteet, joita tässä työssä on käytetty nostopisteiden määrittämiseen. Nämä ovat tutkimuksen perusteella minivaatimukset, jotka vähintään tulisi selvittää nostopisteitä määritettäessä. Vaihde-elementtien nostopisteiden suunnittelussa voitaisiin ottaa huomioon myös muita tekijöitä, kuten esimerkiksi elementin vääntö. Kuvassa 80 esitetyt ovat minimivaatimukset. Kuvan 79 kaikki eri tekijät vaikuttavat koko noston suunnitteluun.



Kuva 79. Nostopisteiden suunnittelun prosessi

Kuvaan 79 on nostopisteiden suunnitteluperusteista alleviivattu ne tekijät, jotka voidaan selvittää jo etukäteen esimerkiksi tulevaan nosto-ohjeeseen. Käytännössä nämä ovat niitä tekijöitä, jotka ovat aina yhtenevät nostettaessa tietyn vaihdetyypin elementtejä. Vaihdetyypin ominaisuuksista muodostuvat suunnitteluperusteet pystytään siis jo etukäteen selvittämään.

Vastaavasti kursivoidulla on merkattu ne tekijät, jotka muuttuvat työmaakohtaisesti. Kaavion avulla voidaan havaita, että työmaan olosuhteet ja nostotapa muokkaavat myös nostopisteiden valintaa. Tästä syystä nostopisteiden suunnittelua tulee jatkossa muuttaa toimintamallista riippumatta siten, että työmaolosuhteiden vaikutukset otetaan huomioon. Parhaiten kokonaisuuden työmaan olosuhteista ja koko työmaan toiminnan olosuhteista pystyy muodostamaan työn päätoteuttaja. Valitusta nostotavasta ja työmaan olosuhteista muodostuvat tekijät tulisikin tutkia aina työmaakohtaisesti nostosuunnitelmas-
sa ennen nostopisteiden valintaa. Nostotavasta ja työmaanosuhteista johtuvia suunnitteluperusteita voidaan yleistää siten, että ne soveltuvat mahdollisimman monelle eri työmaalle. Näin tehtiin kappaleissa 6.4–6.5.

Nostopisteiden valinnasta voidaan näin ollen muodostaa kaksi erilaista toimintamallia:

- 1) Työn päätoteuttaja määrittää käytettävät nostovälit aina työmaakohtaisesti tai
- 2) Vaihde-elementteihin nostoihin käytetään yleisiä nostovälejä, jotka voidaan merkitä elementteihin jo vaihdehallilla.

Toimintamallin valinta on erittäin keskeistä, sillä valittu toimintamalli vaikuttaa jatkossa esitettäviin nostopisteisiin. Toisaalta toimintamalleista voidaan yrittää jatkossa kehittää myös jonkinlainen niiden yhdistelmä.

Jos vastuu nostopisteiden valinnasta siirretään työn päätoteuttajalle, nostopisteet suunniteltaisiin tällöin aina työmaakohtaisesti. Tulevassa nosto-ohjeessa voitaisiin tässä tilanteessa esittää esimerkiksi kappaleen 6.2.2 tavalla esitetyt taivutusmomentin sallimat nostoalueet, joita noston suunnittelija voisi käyttää hyväksi nostopisteiden valinnassa. Nostopisteiden suunnittelua pysyttäisiin muutenkin helpottamaan tekemällä mahdollisimman paljon etukäteistä selvitystyötä, jota työmaakohtaisessa nostopisteiden suunnittelussa voidaan käyttää hyväksi. Käytännössä kaikki kuvaan 79 merkatut vaihdetyypistä riippuvat suunnitteluperusteet voitaisiin selvittää etukäteen. Työn päätoteuttajalle jäisi vastuu kokonaisuuden luomisesta sekä nostotavasta ja työmaan olosuhteista johtuvien suunnitteluperusteiden huomioimisesta. Toimintamallin selkeimpänä etuna on, että sen avulla nostopisteet pystytään asettamaan optimaalisimpiin mahdollisiin kohtiin. Haittana työmaakohtaisessa nostovälien määrittämisessä on noston suunnittelun monimutkaisuus. Työmaan päätoteuttajan tulee nähdä huomattavasti nykyistä enemmän vaivaa noston suunnittelussa. Lisäksi suunnitelmia tulisi tarkastaa.

Jos jatkossa päätetään jatkaa nostopisteiden merkitsemistä vaihdehalleilla, tulee nostotavasta ja työmaan olosuhteista riippuvia tekijöitä yleistää. Tämä tarkoittaa sitä, että

taivutusmomentin sallimia nostovälejä tulee tarkastella siten, että ne soveltuvat mahdollisimman monelle eri nostotavalle ja useimmille työmaaolosuhteille. Tätä tutkimusta on juuri tehty kappaleissa 6.4–6.5. Kuvassa 79 viimeisenä esitettyä suunnitteluperustetta eli työmaakohtaisia pakkopisteitä ei pystytä tässä mallissa huomioimaan. Tästä syystä yksittäisten nostopisteiden sijaan on esitetty tutkimuksissa kaikki työhön soveltuvat nostopisteet eli nostoalueet, jotta nostopisteitä voidaan työmaakohtaisten pakkopisteiden mukaan säätää. Kappaleessa 6.6.2 esitetään tämän toimintamallin nostoihin soveltuvat pölkkyvälit. Näitä nostovälejä voidaan siis käyttää kaikilla esitellyillä käsittelymenetelmillä sähköistetyllä radalla jännitekatkon aikana. Toisin sanoen nämä nostovälit on muodostettu mahdollisimman monen erilaisen työmaan olosuhteita varten. Toimintamallin suurimpana haittana ovat kompromissit, joita joudutaan tekemään. Suunnittelussa tehdään paljon yleistyksiä ja työmaalla voisi olla mahdollisuus myös parempien nostovälien käyttöön.

Työmailla havaittiin jo tutkimuksen aikana epäselvyyksiä siitä tuleeko nostopisteet elementteihin valmiiksi merkittyinä vai ei. Nostopisteiden valinnan selkeyttämiselle on siis tarvetta. Jatkossa nostopisteiden valinnan toimintamallista tulee tehdä päätös ja tätä helpottamaan tässä tutkimuksessa vertaillaan toimintamalleja. Vertailu on tehty laatimalla molemmista toimintamalleista niin kutsutut SWOT-analyysit. Analyysien avulla on tarkoitus tunnistaa toimintamallien vahvuudet (strengths), heikkoudet (weaknesses), mahdollisuudet (opportunities) ja uhat (threats). Analyysissä vahvuudet ja heikkoudet ovat toimintamallin sisäisiä tekijöitä. Mahdollisuudet ja uhat taas vastaavasti ovat ulkopuolelta tulevia vaikutuksia.

Taulukossa 21 on tarkasteltu SWOT-analyysin avulla toimintamallia, jossa nostopisteet merkittäisiin vaihde-elementteihin vaihdehalleilla. Vaihdehalleilla merkattujen nostopisteiden tulisi jatkossa olla yleisnostovälejä, jotta ne soveltuvat mahdollisimman monelle työmaalle sellaisenaan. Yleisnostovälit esitellään kappaleessa 6.6.2.

Taulukko 21. *SWOT-analyysi toimintamallista, jossa nostopisteet merkitään vaihde-elementteihin etukäteen vaihdehalleilla.*

Nostopisteiden merkitseminen vaihdehalleilla	
Vahvuudet	Heikkoudet
Helppo toimintatapa molemmille osapuolille.	Vaihde-elementtiä ei välttämättä aina nosteta optimaalisimmista kohdista.
Mahdollisuudet väärin nostopisteiden käytöllä vähenee.	Nostoapuvälineiden suunnittelu voi jäädä tekemättä.
Nostopisteet aina työmaalla saatavilla.	Nostopisteitä ei suunnitella työmaakohtaisesti.
Vastuunjako selkeä.	Vaihdehallin ja työmaan erot nosto-olosuhteissa eivät erotu.
Mahdollisuudet	Uhat
Laaja tietämys nostopisteistä.	Nostojen merkitys osana koko työmaata heikkenee.
	Nostojen suunnittelun tarve vähenee, jolloin suunnittelun muut osa-alueet kärsivät.
	Nostotyösuunnitelman kehittämiselle ei ole tarvetta tulevaisuudessa.
	Vaihdehalleilla väärin merkatun nostopisteen vaikutus kertaantuu myös työmaalle.

Taulukossa 22 taas vastaavasti on SWOT-analyysi toisesta toimintamallista, missä nostopisteitä ei merkata etukäteen vaihteeseen. Tässä toimintamallissa työn päätoteuttajalla on vastuu nostopisteiden valinnasta ja valintaan johtaneet perustelut tulisi esittää kirjallisesti nostosuunnitelmassa. Nostopisteiden valinnan pohjana tulee käyttää tässä työssä (kappaleessa 6.2.2) esiteltyjä taivutuksen rajaamia nostovälejä. Näin voidaan varmistaa, että kiskoon ei pääse syntymään pysyviä muodonmuutoksia.

Taulukko 22. *SWOT-analyysi toimintamallista, jossa päätoteuttaja suunnittelee nostopisteet työmaakohtaisesti.*

Päätoteuttaja suunnittelee nostopisteet työmaakohtaisesti	
Vahvuudet	Heikkoudet
Jokaiseen nostoon kiinnitetään paljon huomiota.	Vaatii noston suunnittelulta ja suunnitelmien tekijöiltä ammattitaitoa, aikaa ja perehtyneisyyttä
Vaihe-elementti nostetaan aina työmaanosuhteiden kannalta optimaalisimmista kohdista.	Nostosuunnitelmien tulisi tarkastaa
Nostot merkittävässä roolissa koko työmaan kannalta.	
Vastuunjako selkeä.	
Mahdollisuudet	Uhat
Nostojen laadun paraneminen.	Samojen suunnitelmien toisto samankaltaisilla työmailla, jolloin toimintamalli on käytännössä samanlainen kuin aiemmin esitelty.
Uusien ja parempien työskentelytapojen löytyminen ja nostojen kehittyminen tulevaisuudessa.	Työmaalla mahdollista epäselvyys nostopisteiden sijainnista, jos suunnitelmat eivät ole kaikkien tiedossa.
Parempi tietoisuus vaihe-elementtiin mahdollisesti noistoissa aiheutuvista vaurioista.	
Nostopisteiden suunnittelun ohessa myös nostojen muu suunnittelu parane.	
Nostosuunnitelman laadun parantuminen.	
Vaihdehallin ja työmaan nostojen selkeä erottelu toisistaan.	

Taulukoita vertaamalla voidaan havaita, että työmaakohtaisesta toimintamallista voidaan löytää huomattavasti enemmän positiivisia ja vähemmän negatiivisia tekijöitä kuin nykyisestä toimintamallista. Vertailun perusteella voidaankin todeta, että nostopisteiden suunnittelu ja valinta tulisi siirtää vaihteen vaihdon päätoteuttajan vastuulle. Tällä tavalla pystyttäisiin erottelemaan selkeämmin nostot vaihdehalleissa ja työmaalla toisistaan. Toimintamallin avulla jokaiseen nostoon valmistauduttaisiin kunnolla jo etukäteen ja nosto nousisi koko työmaan vaiheista selkeästi merkittävämpään asemaan. Lisäksi toimintamallin avulla on mahdollisuus uusien toimintatapojen löytymiseen ja työn kehittymiseen tulevaisuudessa. Nostopisteiden suunnittelun siirtäminen päätoteuttajan vastuulle vaatii nostosuunnitelman yhdenmukaistamista, jotta kaikki tarvittavat tekijät otetaan kaikilla työmailla huomioon. Jatkossa tulisikin pystyä kehittämään nostosuunnitelman laatua. Tämän toimintamallin heikkoutena voidaan nähdä olevan siitä aiheutuva lisätyö ja suunnittelun vaatima ammattitaidon riittävyys. Huonosti tehty nostopisteiden suunnittelu ja kiire voivat aiheuttaa vakavia virheitä.

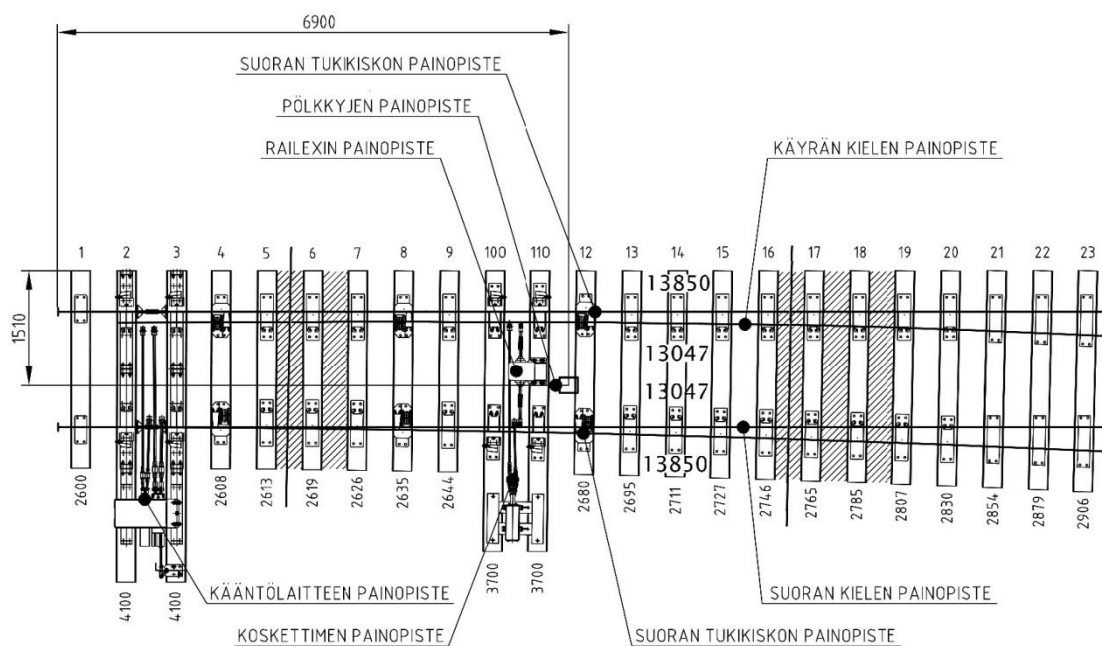
Näiden kahden selkeän toimintamallin sijaan on mahdollista myös kehittää niiden välistä jonkinlainen kompromissiratkaisu. Siinä voitaisiin esimerkiksi esittää yleisnostovälit eri elementeille, mutta vaadittaisiin jonkinlaista työmaakohtaisen suunnittelun lisäämistä. Kuvassa 79 keskimmaisessa sarakkeessa on esitelty tekijöitä, joiden vaikutuksesta nostopisteiden suunnitteluperusteet muotoutuvat. Nämä ovat samalla tekijöitä, jotka vaikuttavat oleellisesti nostolaitteen valintaan. Voidaankin havaita, että nostolaitteen valintaa tulee tehdä samanaikaisesti nostopisteitä valittaessa. Verrattaessa keskimmaisen sarakkeen tekijöitä vielä kappaleessa 5.1 esitettyihin noston suunnittelun minimivaatimukseen havaitaan, että ne vastaavat lähes toisiaan. Koko nostotyön kannalta on siis erittäin tärkeää suunnitella nostotyö kokonaisuutena, johon kuuluu osana nostopisteiden suunnittelu. Juuri tämän kokonaisuuden hallintaa pystytään tehokkaasti tekemään hyvällä nostosuunnitelmalla. Kompromissitoimintamallia voitaisiinkin hakea jonkinlaisesta yleisestä nostosuunnitelman kehittämisestä, missä huomioitaisiin myös nostopisteiden suunnittelu ja valinta.

6.6.2 Vaihteen YV60-300-1:9 yleisnostovälit

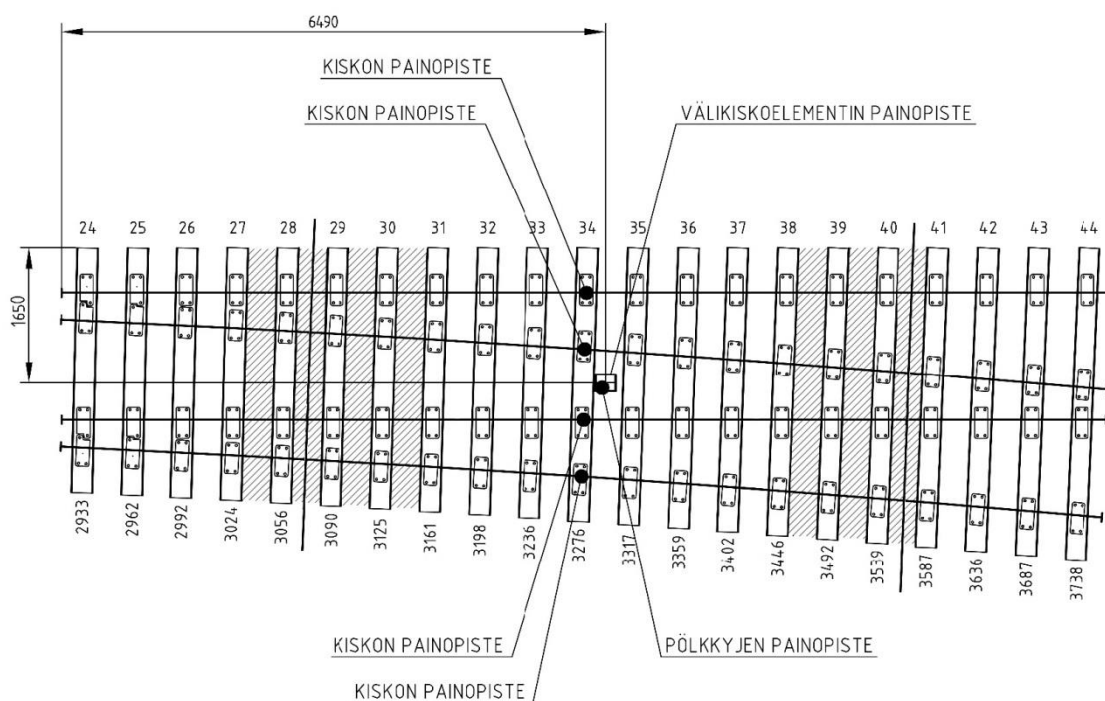
Ohessa on määritetty vaihteelle YV60-300-1:9 yleisnostovälit. Näiden nostovälien tarkoitus on olla mahdollisimman edullinen vaihteen rakenteelle ja sopia mahdollisimman moneen tilanteeseen. Nostovälien laidinnassa on kiinnitetty huomiota nimenomaan työmaaolosuhteisiin. Yleisnostovälit on muodostettu siten, että ne soveltuvat mahdollisimman moneen nostotapaan ja erilaisille työmaaolosuhteille. Nostovälit on määritetty myös siten, että ne soveltuvat ajolankojen alle jännitekatkon aikana.

Oheisia nostovälejä käytettäessä on kuitenkin tärkeää tutkia myös nostolaitteen vaikutus nostovälien käyttöön. Kuvissa 80, 81 ja 82 on vaihteen YV60-300-1:9 kaikkien kolmen elementin yleisnostovälit ja kappaleessa 5.2.1 määritetyt painopisteet. Esitettyjen nostovälien määrittämisessä on otettu huomioon kaikki tässä tutkimuksessa selvinneet ja kuvassa 80 esitetyt tekijät, jotka vaikuttavat nostopisteiden suunnitteluun ja valintaan.

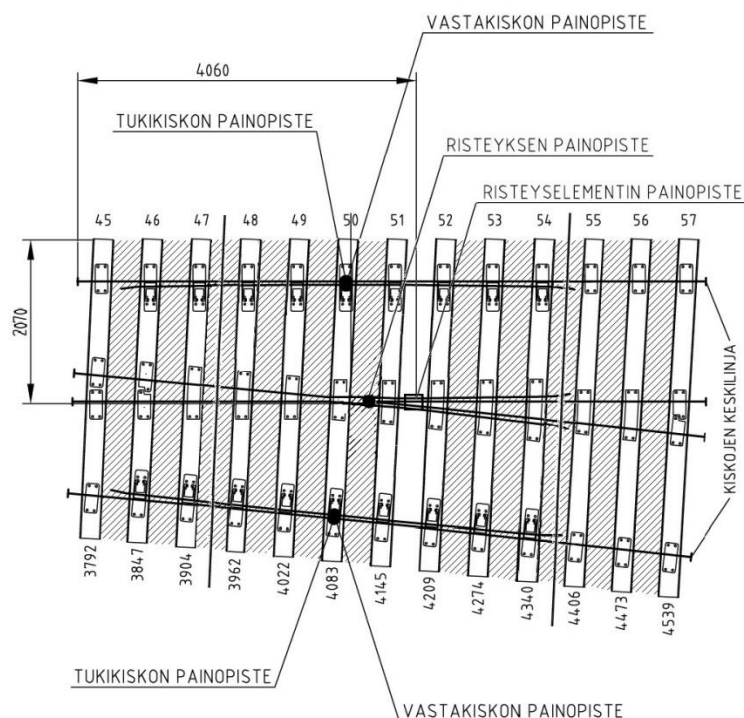
Kaikkien elementtien nostoissa tulisi kiinnittää huomiota siihen, että myös nostettaessa pieniä vaihteita kahdella laitteella tulisi käyttää hyväksi mahdollisuus nostaa kolmesta tai neljästä nostovälistä kahden sijaan. Tällä tavalla nostosta aiheutuvaa elementin taivutusta pystytään vähentämään. Myös näistä tilanteista tulisi tutkia optimaalisimmat nostovälit. Tässä kappaleessa esitetyt nostovälit soveltuvat kahdesta pölkkyyvälistä nostettaessa.



Kuva 80. YV60-300-1:9 kielisovituselementin yleisnostovälit ja painopisteet. (muokattuna lähteestä Pollari 2015)



Kuva 81. YV60-300-1:9 välikiskoelementin yleisnostovälit ja painopisteet. (muokattuna lähteestä Pollari 2015)



Kuva 82. YV60-300-1:9 risteuselementin yleisnostovälit ja painopisteet. (muokattu-
na lähteestä Pollari 2015)

Kuviin 80–82 on merkitty käytettävissä olevista nostoväleistä optimaalisimmat. Näitä nostovälejä käyttämällä kaikkia mahdollisesti syntyviä vaurioita pystytään tehokkaimmin välttämään. Optimaalisten nostovälien käyttöä ei kuitenkaan tarvitse vaatia, vaan työmaalla riittää sallittujen nostovälien käyttö. Ennen nostotyön aloittamista olisi kuitenkin aina tärkeää miettiä, mitä kaikkia voiman komponentteja käytettävästä nostovälistä syntyy tai voi syntyä ääritilanteessa. Vain näin pystytään varmistamaan, ettei nostosta aiheudu elementille pysyvää vauriota. Noston suunnittelussa voidaan siis nähdä kaikkien tekijöiden vaikuttavan toisiinsa ja suunnittelussa tulisi ottaa huomioon kokonaisuus.

6.6.3 Nostopisteiden merkintä

Jos nostopisteiden merkitsemistä vaihdehalleilla tulevaisuudessa jatketaan, niiden merkintätapaa tulisi jatkossa kehittää. Tutkimuksen aikana työmailla ja vaihdehalleilla käyntien yhteydessä havaittiin harmillisia epäselvyyksiä nostopisteiden merkinnöissä. Jatkossa tulee kiinnittää huomiota myös nostopisteiden merkintään ja merkintätapa tulisi yhtenäistää.

Tällä hetkellä siis nykyiset käytössä olevat nostopisteet on laadittu vaihdehallia varten, joten vaihdehallilla tehdään myös nostopisteiden merkintä vaihdehallin omia tarpeita varten. (Pulliainen 2015) Vaihde-elementtien nosto ja siirto -ohjeen (Liikennevirasto 2007) mukaisesti nostopisteet tulisi merkitä kiskon kylkeen käyttäen keltaista tasisivuista kolmiota. Tällä tavoin merkatut nostopisteet on esitelty kuvassa 83.



Kuva 83. Nostopisteiden merkitseminen keltaisilla tasasivuisilla kolmioilla.

Kuvan 83 mukaisesti kiskon kylkeen merkatut nostopisteet helpottavat huomattavasti työmaalla myös työnjohdon ja valvojien työtä. Kylkeen merkattujen nostopisteiden käyttöä on helppo seurata varsinkin silloin, kun vaihde-elementti on auton perävaunussa.

Toinen tutkimuksen aikana havaittu nostopisteiden merkintätapa on kirjoittaa kiskon hamaraan ”nosto” niiden pölkkyvälien kohdalle, joista nosto voidaan tehdä. Tämä merkintätapa on esitelty kuvassa 84.



Kuva 84. Nostopisteiden merkitseminen kiskon hamaraan.

Kuvasta 84 huomataan, että kiskon pinnassa on myös muita merkintöjä, joten sivusta on huomattavasti haasteellisempaa seurata ja valvoa nostoapuvälineiden kiinnityskohtia, kuin kiskon kylkeen merkityissä nostopisteissä. Tehtyjen havaintojen perusteella huolestuttavinta olivat havainnot, joissa muita merkintöjä luultiin työmaalla vaihde-

elementin nostopisteiden merkinnöiksi. Varsinkin vaihteen kielisovituksen nostopisteitä luultiin koko vaihde-elementin nostopisteiksi. Tämä merkintä on esitetty kuvassa 85.



Kuva 85. Kielisovituksen nostopiste.

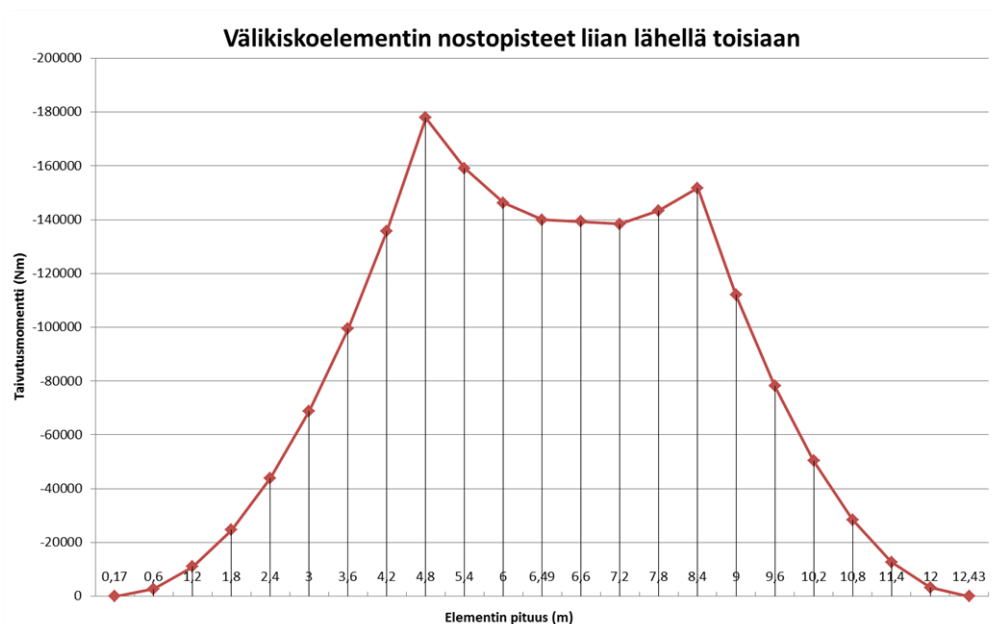
Kuvassa 85 olevalla keltaisella ketjua muistuttavalla symbolilla merkitään pelkän kielisovituksen nostopisteitä. Kielisovitus tulee valmiina kokonaisuutena vaihdehallille ja se nostetaan näistä pisteistä osaksi vaihdetta. Merkintää ei siis tule sekoittaa koko kielisovituselementin nostopisteisiin. (Pulliainen 2015) Varsinkin kuvan 85 nostopisteen käytössä on merkittävänä riskinä myös nostoapuvälineiden aiheuttamat vauriot viereisille vaihteen laitteille.

Lisäksi vaihde-elementissä on lukuisia muitakin merkintöjä, tekstejä ja symboleita erityisesti kiskon hamarassa. Tehtyjen havaintojen pohjalta olisikin perusteltua tehdä jatkossa yksiselitteinen päätös, millä tavoin vaihde-elementteihin nostopisteet merkitään, ja pysyä siinä aina. Näin pystytään välttämään väärinkäsitykset merkinnöissä työmaalla. Tämän tutkimuksen pohjalta ehdotetaan käytettäväksi nykyistä kiskon kylkeen maalattua kolmiota. Tällä tavalla kaikki työmaalla olevat pystyvät seuraamaan, että nostoapuvälineitä ei ole kiireessä kiinnitetty väärään kohtaan eikä merkintä huku muiden merkintöjen joukkoon.

6.6.4 Määritettyjen nostovälien vertailu nykyisiin nostopisteisiin

Tässä tutkimuksessa esitetään uusia nostovälejä käytettäväksi vaihde-elementtien nostoihin, sillä nykyiset nostovälit on määritetty vaihdehallia varten. Tehtyjen tarkastelujen avulla voidaan helposti määrittää taivutusmomenttikuvaajat myös nykyisin käytössä

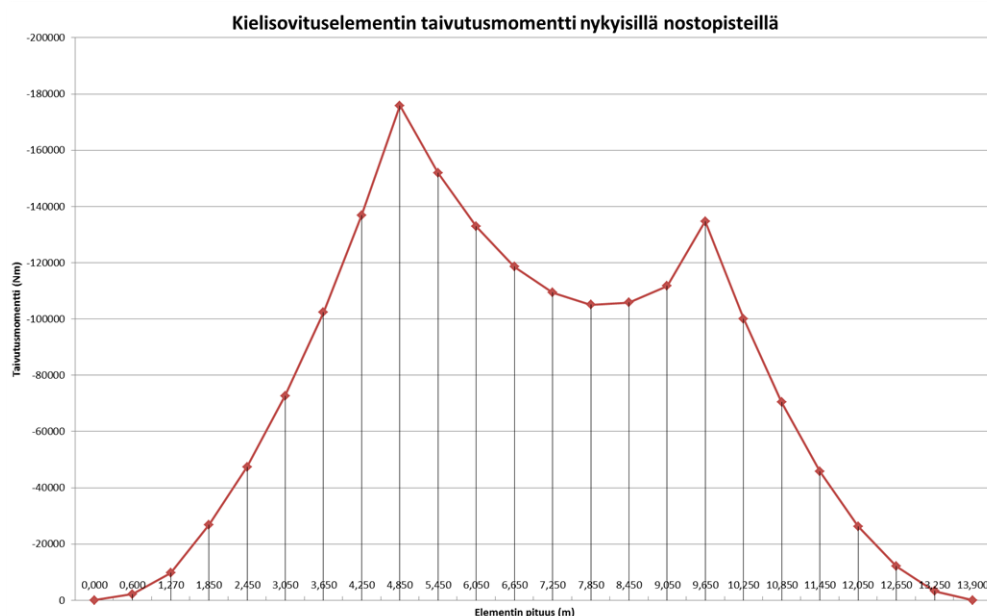
olevia nostopisteistä. Tarkastelun perusteella pystytään näin tutkimaan, kuinka nykyiset nostopisteet soveltuvat eri nostotavoille. Nykyisten nostopisteiden käytöstä aiheutuva taivutusmomentti vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementissä on esitelty kuvassa 86.



Kuva 86. Vaihteen YV60-300-1:9 välikiskoelementin taivutusmomentti käytettäessä nykyisiä nostopisteitä.

Kuvasta nähdään, että taivutusmomentti nousee sallittua -147 kNm korkeammaksi, joten tämän tutkimuksen perusteella näitä nostopisteitä ei tule käyttää. Vaihdehallilla nostot voidaan kuitenkin tehdä vakaammin kuin työmailla, kuten kappaleessa 5.5 todettiin. Näin yhtä suuria dynaamisia kuormia kuin työmaalla ei pääse syntymään, joten todellisuudessa taivutusmomentti jäänee pienemmäksi.

Kuvassa 87 on vastaavasti saman vaihteen kielisovituselementin taivutusmomenttikuvaaja nykyisistä nostopisteistä nostettaessa. Taivutusmomenttikuvaajasta voidaan havaita, että nykyiset nostopisteet ovat liian etäällä elementin päistä.



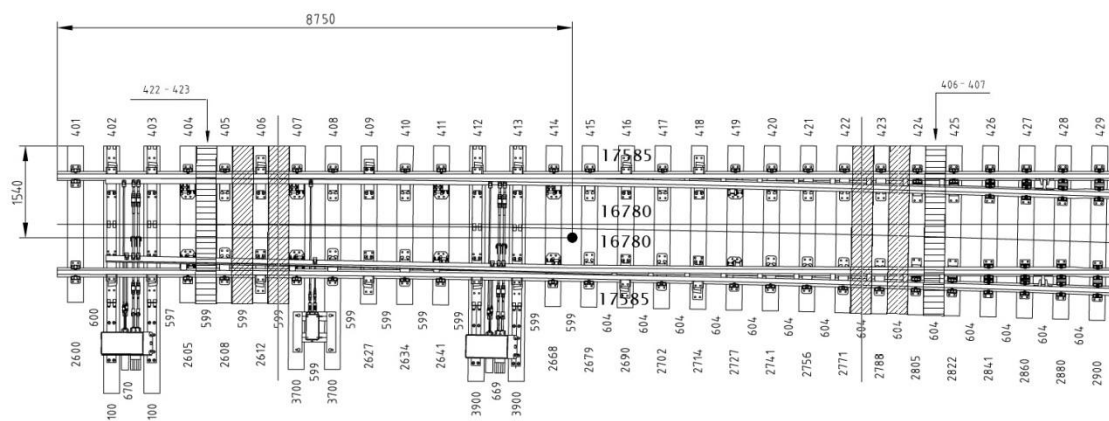
Kuva 87. Vaihteen YV60-300-1:9 kielisovituselementin taivutusmomentti käytettäessä nykyisiä nostopisteitä.

Vaihteen YV60-300-1:9 risteys-elementin kohdalla vanhat nostopisteet on kuitenkin määritetty samoihin pölkkyväleihin kuin tässä tutkimuksessa optimaalisimmiksi todetut pölkkyvälit. Tosin nykyisissä ohjeistuksissa tämän elementin painopiste on määritetty eri kohtaan kuin tässä työssä kuten kappaleessa 5.2.1 todettiin. Näiden vertailujen pohjalta voidaan pitää perusteltuna, että jatkossa työmaan lisäksi myös vaihdhalleilla vaihdettaisiin nyt käytettävät nostopisteet tässä työssä määritellyiksi.

Tämän työn puitteissa tehtyjen vertailujen avulla on havaittu yllättävän paljon ristiriitaista tietoa nykyisten nostopisteiden, painopisteiden ja tämän tutkimuksen tuloksien välillä. Ulkomaisesta kirjallisuudesta ei löydetty tietoa muualla käytettävistä nostopisteistä tai painopisteistä, joten tuloksia ei voida vertailla tämän enempää. Tutkimuksen aikana havaittiin kuitenkin, että eräällä työmaalla käytettiin vaihteen YV60-300-1:9 väliskisoelementille samoja nostopisteitä, jotka myös tässä työssä määriteltiin taivutusmomentin kannalta optimaalisimmiksi. Tämä nostotilanne on kuvassa 32. Nostotilanteessa ei havaittu mitään poikkeavaa, joten tällä perusteella tutkimuksen aikana määritettyjen nostopisteiden käyttöä voidaan suositella. Eri nostopisteiden käyttöä olisi tarpeen vertailla myös käytännössä esimerkiksi koenostojen avulla. Lisäksi jatkossa olisi perusteltua tutkia myös muidenkin vaihteiden eri elementtien nostopisteitä. Muille tässä työssä tutkittaville vaihteille ei ole aiemmin määritettyjä nostopisteitä, joten niiden kohdalla vertailua ei voida tehdä. Tällä hetkellä saatavissa on vain painopisteiden tiedot. Jatkossa olisi ehdottomasti tarpeen tarkastella myös pitempien vaihteiden nostoihin soveltuvat pölkkyvälit ja määrittää nostovälejä useammasta kuin kahdesta nostovälistä nostettaessa.

6.6.5 Muiden tutkittavien vaihteiden nostopisteet

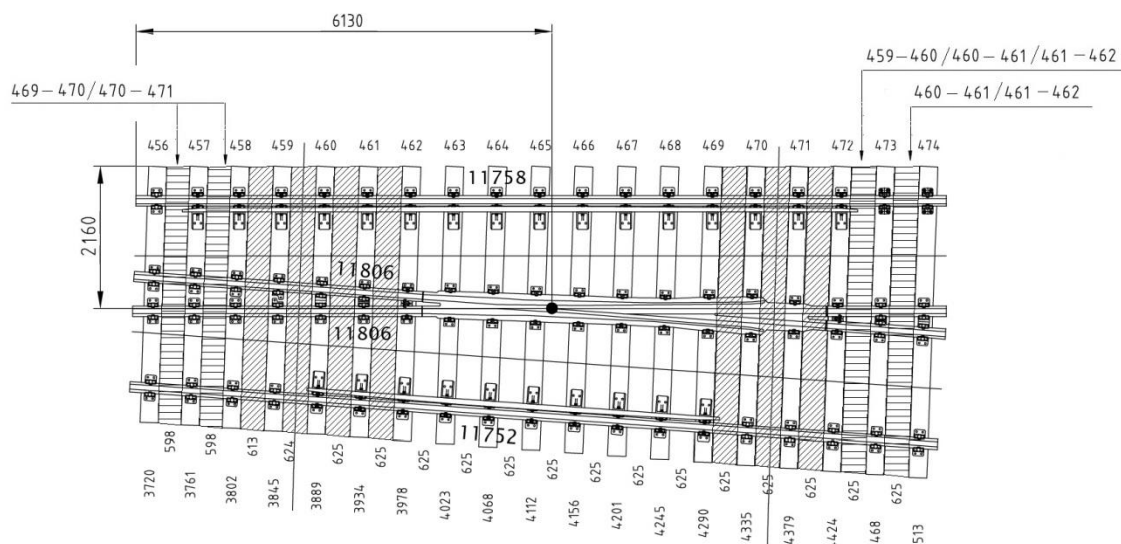
Vastaavalla tavalla kuin vaihteelle YV60-300-1:9 myös muille tässä työssä tutkittaville vaihteille voidaan määrittää nostoihin soveltuvat pölkkyvälit. Aiemmin tutkittiin yleisnostovälit lyhyelle vaihteelle YV60-300-1:9. Nostopisteiden tarkastelussa havaittiin, että tämän vaihteen elementtejä pystytään nostamaan kahdesta nostovälistä. Muut tarkasteltavat vaihteet ovat YV60-500-1:11,1 ja YV60-500-1:14, jotka molemmat ovat pitkiä vaihteita. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus tarkastella, pystytäänkö myös näitä vaihteita nostamaan kahdesta pölkkyvälistä ja mitkä pölkkyvälit sopisivat tällöin käyttöön. Molemmissa vaihteissa kielisovituselementti ja välikiskoelementti ovat täysin samanlaiset ja vaihteiden ero on risteyselementissä, kuten kappaleessa 3 kerrottiin. Niinpä molempien vaihteiden kielisovituselementille ja välikiskoelementille voidaan määrittää samat nostovälit. Kahdesta nostovälistä nostettaessa saadaan kuvien 88 ja 89 mukaiset taivutusmomentin sallimat nostovälit vaihteiden kielisovituselementille ja välikiskoelementille. Kuviin on merkitty myös näiden vaihteiden painopisteet, mitkä määritettiin jo kappaleessa 5.2.1.



Kuva 88. Vaihteiden YV60-500-1:11,1 ja YV60-500-1:14 kielisovituselementin sallitut nostovälit (muokattuna lähteestä Pollari 2015).

Kuvasta 88 voidaan havaita, että näissä vaihteissa on yhden kääntölaitteen sijaan kaksi kääntölaitetta. Tämä lisää huomattavasti riskiä elementin vaurioitumiseen nostojen aikana, sillä vaarana on toisen kääntölaitteen taivutuksen aiheuttama vaurioituminen. Molempien vaihteiden kielisovituselementtejä voidaan taivutuksen sallimissa rajoissa nostaa kahdesta nostovälistä. Nostot kannattaa kuitenkin tehdä useasta kohdasta.

Kuvassa 89 on esitetty samojen pitkien vaihteiden välikiskoelementin käytettävissä olevat nostovälit.



Kuva 91. Vaihteen YV60-500-1:14 risteyselementin sallitut nostovälit (muokattuna lähteestä Pollari 2015).

Kuvia 90 ja 91 vertaamalla voidaan havaita, että koska vaihteen YV60-500-1:14 risteysselementissä on yksi pölkky vähemmän kuin vaihteen YV60-500-1:11,1 risteysselementissä, järjestysnumeroltaan suurempien pölkkyjen päässä on yksi nostoväli vähemmän käytettävissä kuin vaihteessa YV60-500-1:11,1. Nostoja suunniteltaessa tämä seikka on oleellista huomioda, sillä muuten vaarana voi olla risteysselementin pysyvät muodonmuutokset, jos nostovälit oletetaan samoiksi. Elementit ovat kuitenkin käytännössä samanpituisia.

Edellä esitetyt nostovälit ovat siis taivutusmomentin rajaamia pölkkyväläjä. Näistä pölkkyväläistä nostettaessa ei ole vaarana, että noston aikana kiskoon kohdistuisi taivutuksesta aiheutuvia pysyviä muodonmuutoksia. Jokaisesta elementistä tulee tehdä vastaavat tutkimukset kuin vaihteen YV60-300-1:9 eri elementeille tehtiin kappaleissa 6.4-6.5, jotta saadaan selvitettyä myös eri elementtien yleisnostovälit. Elementit ovat näissä vaihteissa selvästi pitempiä, kuin aiemmin tutkitussa YV60-300-1:9-vaihteessa. Koska tarkoituksena on selvittää mahdollisimman monelle työmaalle soveltuvat nostovälit, oleellista on selvittää, onko nostovälien käyttö mahdollista ilman nostopuomia tai kahta erillistä nostolaitetta. Jos eri nostotavat rajaavat nostovälejä pois, tulee nostoihin kehittää vaihtoehtoisia tapoja.

Nostovälien käyttöön vaikuttaa merkittävästi noston aksien pituudet, sillä nostoihin sallituilla kulmilla korkeus saattaa rajata nostovälejä työskenneltäessä ajolankojen alla. Taulukkoon 23 on laskettu vaadittavat korkeudet työskentelytilalta, kun vaihdetaan vaihdetaan ilman nostopuomia sähköistetyllä radalla jännitekatkon aikana. Vertailu on tehty samalla tavalla kuin vaihteelle YV60-300-1:9. Punaisella värillä on merkattu korkeudet, jotka ylittävät ajolankojen nimelliskorkeuden.

Taulukko 23. Nostoraksien pituudet nostettaessa vaihde-elementtiä ilman nostopuomia. Punaisella värillä on merkitty korkeudet, jotka eivät riitä työskentelyyn ajolankojen alla.

Vaihde	Elementti	Nostoväli	Nostovälin etäisyys painopisteestä, x [mm]	Nostoraksin pituus, z_n [mm]	Vaadittava minimi korkeus nostoapuvälineiltä, y [mm]
YV60-500-1:11,1	kielisovitus	404-405	6278	10945	8966
		405-406	5678	9899	8109
		406-407	5078	8853	7252
		423-424	5235	9127	7476
		424-425	5840	10182	8340
		425-426	6445	11237	9204
	väliskisko	431-432	6844	11932	9774
		432-433	6244	10886	8917
		433-434	5644	9840	8060
		434-435	5043	8792	7202
		435-436	4443	7746	6345
		436-437	3843	6700	5488
		448-449	3357	5853	4794
		449-450	3957	6899	5651
		450-451	4557	7945	6508
		451-452	5156	8989	7364
		452-453	5756	10035	8220
		453-454	6356	11081	9077
	risteys	456-457	5570	9711	7955
		457-458	4970	8665	7098
		458-959	4370	7619	6241
		959-960	3770	6573	5384
		960-961	3170	5527	4527
		961-962	2570	4481	3670
		969-970	2160	3766	3085
		970-971	2740	4777	3913
		971-972	3320	5788	4741
		972-973	3900	6799	5570
		973-974	4475	7802	6391
		974-975	5045	8796	7205
YV60-500-1:14	risteys	456-457	5530	9641	7898
		457-458	4930	8595	7041
		458-459	4323	7537	6174
		459-460	3723	6491	5317
		460-461	3098	5401	4424
		461-462	2473	4312	3532
		469-470	2527	4406	3609
		470-471	3152	5495	4502
		471-472	3777	6585	5394
		472-473	4402	7675	6287
		473-474	5027	8764	7179

Taulukon 23 arvojen perusteella vaihteiden YV60-500-1:11,1 ja YV60-500-1:14 kielisovitus-elementtejä ei voida nostaa mistään taivutusmomentin sallimista nostoväleistä ilman nostopuomia yhden nostolaitteen avulla ajolankojen alla. Tuloksien perusteella nostojen aikana tulisi pyrkiä jollain tavalla vähentämään nostoapuvälineiden pituuksia. Käytännössä tämä tapahtuu käyttämällä nostopuomia nostojen apuna tai vaihtoehtoisesti nosto tulee tehdä kahdella nostolaitteella.

Käytettäessä nostopuomia tai kahta nostolaitetta työmaalla nosto pystytään tällöin tekemään yhtäaikaaisesti kolmesta tai neljästä nostovälistä. Tällä tavalla saadaan elementin kuormaa jaettu useammalle nostoraksille ja elementin taivutusmomentin maksimi ja minimi pienemmäksi. Lisäksi tällä tavalla pystytään paremmin varmistamaan myös molempien kääntölaitteiden sekä kääntöavustimen vaurioitumattomuus koko noston ajan.

Vaihteen nostoa suunniteltaessa tulisikin aina pohtia yksityiskohtaisesti pystytäänkö vaihteen kaikki elementit nostamaan ilman nostopuomia pelkkien nostoraksien avulla. Jos näin ei pystytä tekemään, työmaalle tulee varata suuremmat nostoapuvälineet noston suorittamiseen. Tällöin tulisi käyttää hyväksi mahdollisuutta nostaa elementti useammasta kuin kahdesta nostovälistä.

Edellä esitettyjen syiden perusteella vaihteen YV60-500-1:11,1 ja sitä pitempien vaihteiden kielisovituselementit tulee nostaa useammasta kuin kahdesta nostovälistä varsinkin työskenneltäessä sähköistetyllä radalla. Jos työmaalla varaudutaan yhden elementin nostamiseen kolmesta tai neljästä nostovälistä, tällöin myös muut elementit voidaan nostaa useammasta kuin kahdesta nostovälistä. Jatkossa olisikin tarpeen määrittää vaihteille YV60-500-1:11,1, YV60-500-1:14 ja näitä pitemmille vaihteille nostovälit neljästä kohdasta nostettaessa. Vaihteelle YV60-300-1:9 on määritetty kaikki tarpeellinen nostopisteiden suunnitteluun jatkossa vaadittava tieto tässä työssä. Tätä vaihdetta lyhyemmille vaihteille tulisi jatkossa määrittää myös nostovälit kahdesta kohdasta nostettaessa. Lisäksi kaikille vaihteille tulee määrittää myös painopisteet, jos niitä ei ole vielä määritetty. Painopisteiden sijainti on erityisen tärkeää varsinkin vaihteiden kielisovituselementtejä nostettaessa. Yksinkertaisia vaihteita lukuun ottamatta muut vaihdetyypit vaativat nostopisteiden suunnittelulta huomattavasti enemmän monimutkaisemman rakenteensa vuoksi.

7. NOSTOJEN TURVALLISUUS

Tähän asti on tutkittu pääasiassa vaihde-elementtiin kohdistuvia vaurioita nostojen aikana ja työturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä on vain sivuttu. Tavoitteena on ollut vaihde-elementeille mahdollisimman turvallinen nosto. Vaihde-elementtien nostojen suunnitteluun ja tähän tutkimukseen kuuluu keskeisesti myös nostojen aikaisen työturvallisuuden varmistaminen. Tässä luvussa esitetään nostojen suunnittelussa huomioon otettava lainsäädäntö. Lisäksi tutkimuksen aikana pyritään selvittämään ne tekijät, joilla nostoista saadaan työntekijöille täysin turvallisia. Tutkimuksessa keskitytään nostoihin vaikuttaviin turvallisuustekijöihin, joten vaihdetyömaan muiden toimintojen turvallisuusasiat pyritään rajaamaan tutkimuksen ulkopuolelle.

Nostotöissä sattuneet tapaturmat ovat olleet vakavia sekä työsuojelun kannalta että taloudellisesti. Yleensä sekä tekniset että työsuorituksen vaikuttavat tekijät ovat osasyynä tapaturman synnyssä. Yhtenä merkittävänä tapaturmien osasyynä pidetään puutteellista suunnittelua ja tarpeettoman usein nostotyö jää vain työnjohtajan ja työntekijän keskinäiseksi keskusteluksi. (Työsuojeluhallinto 2010) Tämän tutkimuksen aikana on sivuttu useasti nostosuunnitelmaa ja sen laatimista vaihde-elementtien vaurioitumisen estämiseksi. Tässä luvussa esitettyjä turvallisuusasioita tulisi ottaa huomioon nostosuunnitelmaa laatiessa. Näin nostotöistä saadaan työntekijöillekin mahdollisimman turvallisia.

7.1 Nostotyötä koskeva lainsäädäntö

Nostoja varten on luotu erillinen lainsäädäntö, joka luo perustan nostoille ja niiden suunnittelulle. Lakien tarkoituksena on varmistaa, että noston suunnittelussa ja nostolaitteen valinnassa otetaan kaikki oleelliset tekijät huomioon. Näin pystytään varmistamaan koko työmaan turvallisuus nostojen aikana. Vaihde-elementtien käsittelymenetelmiä suunniteltaessa huomioon otettavia keskeisimpiä määräyksiä ovat:

- Valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta 205/2009
- Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta 403/2008
- Valtioneuvoston asetus elementtirakentamisen työturvallisuudesta 578/2003
- Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008

Vaihdetyömaan tilaajana on valtion rataverkolla Liikennevirasto, joka kuitenkin saattaa tilata urakan valvonnan ja rakennuttamisen erilliseltä taholta. Rakennuttajan tehtävänä on laatia rakennustyön turvallisuutta koskeva asiakirja, missä on otettava huomioon

työhön liittyvät tarpeelliset turvallisuustiedot työn suunnittelua ja valmistelua varten. Asiakirjan keskeinen sisältö käsittää suunnittelijalle annettavat lähtötiedot hankkeen ominaisuuksista ja luonteesta. Lisäksi asiakirjassa on oltava lähtötiedot rakennuspaikan olosuhteista. Hankkeesta tulee tehdä myös suunnittelutoimeksianto, jossa vaaditaan työturvallisuuden huomioon ottamista elementtirakentamisen aikana. Elementtien nostot tulee suunnitella etukäteen siten, että niiden turvallinen nosto pystytään varmistamaan koko hankkeen ajan. (Finlex 2003)

Työn päätoteuttajan tehtävä on noston suunnittelu. Sen aikana tulee tunnistaa ja selvittää nostoihin liittyvät riskit sekä pyrkiä poistamaan tai vähentämään niistä aiheutuvia vaaratilanteita (Finlex 2003). Kappaleessa 5.1 esiteltiin asiat, jotka tulisi selvittää, jotta voidaan varmistaa vaihde-elementin turvallinen nosto. Vähintään seuraavat lainsäädännössä määrättyt asiat on otettava samaan aikaan suunnittelussa huomioon, jotta voidaan varmistaa myös työntekijöiden turvallisuus ja nostojen turvallisuus koko hankkeen ajan:

- Noston suunnittelu on tehtävä huolellisesti, jotta työntekijöiden turvallisuus ei vaarannu. Erityistä huomiota tulee kiinnittää, että taakan alla tai vaara-alueella ei liikuta tarpeettomasti.
- Nostolaitteen tulee olla suoritusarvoltaan riittävä ja käyttötarkoitukseen sopiva.
- Noston suorittamiseen tulee varmistaa riittävästi tilaa.
- Paikan, josta nostolaite suorittaa noston tulee olla sellainen, että nostolaite ei pääse kallistumaan, kaatumaan tai liikkumaan hallitsemattomasti.
- Vaihde-elementtien nostamiseen tulee valita sopivat nostoapuvälineet.
- Noston aikana tulee varmistua, että nostolaitteen käyttäjällä on riittävä näkyvyys kaikkiin tarvittaviin suuntiin.
- Työstä on laadittava nostosuunnitelma, jotta toimintojen yhteensovittaminen voidaan varmistaa työskennellessä yhtä aikaa kahdella tai useammalla nostolaitteella.
- Nostettavien elementtien ja nostolaitteiden osien välisten törmäysten välttämiseksi tulee olla riittävät toimenpiteet, jos on vaarana, että useampi nostolaite on päällekkäisillä toiminta-alueilla. (Finlex 2008)

Tärkeintä nostojen turvallisessa suorittamisessa on nostotyön kokonaisuuden suunnittelu ja työn tekeminen suunnitellulla tavalla. Nostolaitteen käytössä on noudatettava varovaisuutta ja huolellisuutta. Voimassa oleva lainsäädäntö määrää varmistamaan, että nostolaitteen suurinta sallittua nostokykä ei ylitetä. Nostolaitteen lisäksi myös nostoapuvälineiden kunnolle on omat määräykset. Tärkeintä niiden käytössä on, että kaikki riittävät merkinnät ovat luettavissa. Näin pystytään helposti varmistamaan nostoapuvälineiden riittävyys työhön. Lisäksi nykyinen lainsäädäntö määrää, että nostoapuvälineet on kiinnitettävä suunniteltuihin nostopisteisiin tai on muulla tavoin varmistettava, että vaihde-elementti voidaan nostaa turvallisesti. Nostopisteiden määrittämisen ja suunnittelun määrää siis myös laki. (Finlex 2008 ja Työturvallisuuskeskus 2012)

Jokaisesta elementistä tulee olla saatavissa tarpeelliset tunnistetiedot. Tunnistetiedoista tulee löytyä elementin valmistaja, paino, painopisteet, nostopisteet sekä valmistuspäivämäärä. Työmaalla tulee siis olla tieto kaikkien vaihde-elementtien painopisteiden sijainnista. Merkitsemätöntä elementtiä ei lain mukaan saa nostaa, siirtää eikä asentaa ilman valmistajalta saatua luotettavaa selvitystä. (Finlex 2008)

Suomen säädöskokoelmien (2015) mukaan kaikissa elementtien siirrossa, nostossa sekä varastoinnissa tulee aina noudattaa valmistajan antamia ohjeita tuotetta kohtaan. Ennen kuin elementtiä aletaan nostaa ja siirtää, on todettava, että kuljetuksesta ei ole aiheutunut vaihde-elementille vaurioita. Elementin kunnon tulee myös olla asiallinen. (Suomen säädöskokoelma 2015) Työmailla tehtyjen havaintojen perusteella painopisteet eivät välttämättä ole työntekijöille selvillä, vaikka elementtien massatiedot ja pituudet löytyvätkin työmaan asiakirjoista. Varsinkin jos painopiste on tarkoitus löytyä merkattuna vaihde-elementistä, voi olla vaarana että sen sijaintia ei tiedetä. Nostosuunnitelmassa olisi hyvä tuoda esiin nostettavien elementtien painot ja ennen kaikkea painopisteet. Tällä tavoin kaikki työmaalla työskentelevät saavat tiedot tarvittaessa helposti selville.

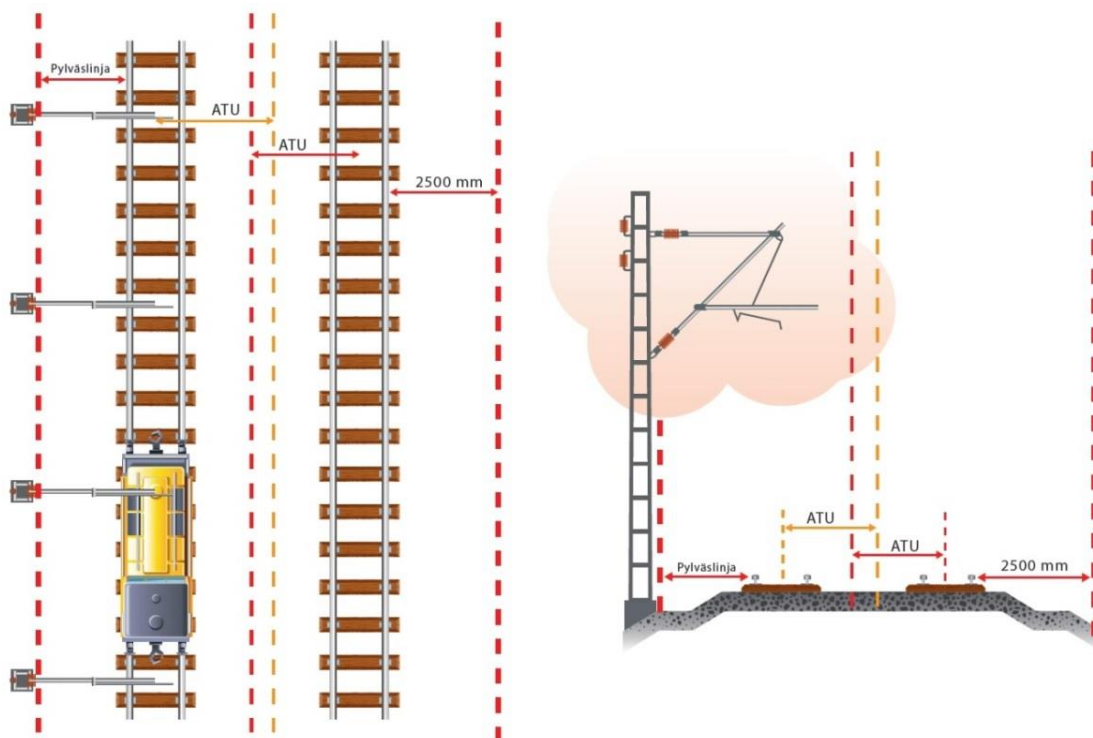
7.2 Ratatyöturvallisuus

Ratatyö tarkoittaa rataverkolla tai rataverkon läheisyydessä tehtävää työtä. Ratatyölle on olennaista, että se voi vaikuttaa liikennöinnin suorittamiseen. Tällöin siihen tarvitaan liikenteenohjauksen lupa. Ratatöissä on mahdollisuus vaaratilanteeseen ja jo vuosia ratatyöturvallisuuteen rautateillä on kiinnitetty erityistä huomiota. Vakavimpiin vaaratilanteisiin liittyisi valtavia riskejä, joista pahin mahdollinen skenaario olisi matkustajajunan törmäminen suurella nopeudella työkoneeseen. Tyypillisiä ongelmatilanteita ovat ratatyökoneiden liikkuminen. Usein poikkeamat, joita ratatyössä tapahtuu, liittyvät ratatöistä vastaavien käyttämiin ongelmallisiin menettelytapoihin, virheellisiin käsityksiin ratatöiden rajoista tai teknisiin osaamispuutteisiin. Näiden seikkojen perusteella tulee nostolaitteen turvallinen käyttö ja liikkuminen rata-alueella tai sen vierellä tulee suunnitella huolellisesti. (TraFi 2013) Lisäksi rautatiejärjestelmälle mahdollisesti kohdistuvat riskit tulee kartoittaa ja hallita ennen nostotyön aloittamista, kuten Radanpidon turvallisuusohjeet määräävät. (Liikennevirasto 2015c)

Erityisesti tilanteisiin, joissa ratatyössä esiintyvien ongelmien taustalla ovat puutteet ratatyöntekijöiden osaamisessa, tulee pyrkiä ennakoidaan. Tällä hetkellä osaamisessa ja kokemuksessa on suuria vaihteluita. Vaihteiden kunnossapitäjiä on liian vähän, mikä johtuu alihankinnan lisäksi osittain myös vuokratyövoiman käytöstä. Suurin osa ratatyöntekijöistä on kuitenkin ammattilaisia, jotka hallitsevat tehtävänsä moitteettomasti. Ongelmia tuottavat pääasiassa alihankintatöiden ketjuuntuminen ja siitä aiheutuvat turvallisuuden sekä työn laadun hallinnan vaikeudet. Vaihteiden kunnossapito- ja vaihtotyömailla eri toimijoista koostuvan alihankkijaketjun hallinta ja osaamisen valvonta on työn tilaajalle suuri haaste. (TraFi 2013)

Liikennevirasto valtion rataverkon haltijana on päättänyt uudistaa työpätevyyskoulutuksen ohella omaa toimintaansa liittyen ratatyöturvallisuuteen. Ratatyöturvallisuuden kehittämiseksi on tehty tutkimuksia ja selvityksiä viime vuosina. Nämä ovat johtaneet joihinkin kehittämis ehdotuksiin ja -toimenpiteisiin. Ratatyöturvallisuutta on lisäksi pyritty kehittämään käymällä osapuolten kanssa läpi poikkeamatapaukset sekä kehittämällä tämän perusteella toimenpiteitä, joilla turvallisuutta voidaan parantaa. (TraFi 2014)

Työturvallisuuden varmistaminen rautatiealueella on kaiken työskentelyn lähtökohta. Ratatyöturvallisuuden ylläpitämiseksi on olemassa erilaisia toimintamalleja ja määräyksiä. Rautatiealueella työskentely voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen sen mukaan, missä työ tapahtuu. Oleellinen tekijä ratatyöturvallisuuden varmistamisessa ja osa-alueisiin jaottelussa on työskentelyetäisyydet varsinkin muuhun liikkuvaan kalustoon. (Liikennevirasto 2015c) Ratatyön suojaulottuma on tila, jonka sisäpuolella työskenneltäessä tulee turvallisuus varmistaa joko turvamiesmenettelyllä tai liikenteenohjauksen työluvalla. Tämä tila on esitelty kuvassa 92. (Vuorinen 2012)



Kuva 92. Ratatyön suojaulottuma, RSU (Liikennevirasto 2015c)

Ratatyön suojaulottuma on yksiraiteisilla rataosuuksilla 2,5 metriä lähimmästä pylväslinjasta tai kiskosta. Useampiraiteisilla rataosuuksilla tai ratapihoilla ratatyön suojaulottuma on 2,5 metriä uloimmista kiskoista tai pylväslinja. Raiteiden välissä ratatyön suojaulottuma on yhtä suuri kuin aukean tilan ulottuma eli ATU. Etäisyydet ovat esitetty myös kuvassa 92. Lisäksi tulee ottaa huomioon ajolankojen mukana tuoma sähköradan suojaetäisyys. (Liikennevirasto 2015c)

Työskenneltäessä täysin ratatyön suojaulottuman ulkopuolella ei työhön tarvitse pyytää erillistä lupaa. Näin voidaan menetellä, jos pystytään varmistamaan, että liikennöinnille ei aiheudu vaaraa tai työstä ei aiheudu muuta riskiä esimerkiksi työkoneen käytöstä. Kahta muuta rautatiealueen työskentelytapaa käytetään ratatyön suojaulottuman sisäpuolella. Työskentely vaatii joko ratatyöhön saatavan luvan liikenteenohjaukselta tai työ voidaan tehdä turvamiesmenettelyllä. (Liikennevirasto 2015c)

Liikenteenohjauksen lupa tarvitaan aina, kun nostolaite tai sen osa voi olla noston aikana ratatyön suojaulottuman sisäpuolella. Toisin sanoen vaihde-elementtien nostoihin tarvitaan aina liikenteenohjauksen lupa. Ratatyölupaa haetaan rataverkon haltijalta. Valtion rataverkolla lupaa haetaan liikenteenohjaukselta. Työn pää toteuttaja toimittaa ratatyöstä ratatyöilmoituksen eli rt-ilmoituksen sille liikenteenohjaukselle, jonka alueella ratatyöt tehdään. Pelkkä ilmoitus ei kuitenkaan vielä oikeuta aloittamaan ratatyötä, vaan siihen täytyy saada myös lupa liikenteenohjaukselta. Ilmoitus tulee kuitenkin olla lähetettynä ennen kuin liikenteenohjauksesta voidaan saada lupa. (Liikennevirasto 2015c) Ratatöiden sovittaminen yhteen junaliikenteen kanssa on hyvin haasteellista ja vaatii sekä ratatyön tekijöiltä että liikennesuunnittelijoilta huolellista suunnittelua ja toimivaa yhteistyötä. Onkin havaittu, että ratatyöturvallisuuden parantamiseen pystyttäisiin jatkossa vaikuttamaan eri osapuolten sujuvan viestinnän parantamisella sekä osaamisen ja riskien hallinnalla. (TraFi 2013)

Turvamiesmenettely on tietyissä tapauksissa vaihtoehto ratatyöluvulle. Sitä ei voida kuitenkaan käyttää raiteilla, joiden suurin työnaikainen nopeus on enemmän kuin 140 km/h. Tällöin tarvitaan aina ratatyölupa. (Liikennevirasto 2015c) Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella turvamiesmenettely on hyvä lisä ratatyöluvulle. Vaihde työmaalla työskentelee yleensä monta eri aliurakoitsijaa ja töitä voi olla monessa paikassa käynnissä yhtäaikaaisesti. Lisäksi osa töistä on koväänisiä, jolloin ohittavaa junaa ei mahdollisesti havaita. Näiden syiden pohjalta varsinkin työmailla, missä viereisellä raiteella liikenne jatkuu koko vaihteenvaihdon ajan normaalina, olisi hyvä käyttää työturvallisuuden lisäämiseksi ratatyöluvan ohessa turvamiestä. Myös Radanpidon turvallisuusohjeiden (Liikennevirasto 2015c) mukaan turvamiestä tulisi käyttää ratatyöluvan ohella työmailla, missä on mahdollista työkoneiden tai työntekijöiden liikkuminen liikennöidyllä raiteella. Esimerkki tällaisesta työmaasta on kuvassa 93. Työturvallisuuden kannalta on tärkeää, että työmaalla on aina kaikkien tiedossa, onko turvamiesmenettely työn tukena. Varsinkin tilanteet, joissa turvamiesmenettely lopetetaan kesken työmaan, voivat olla vaarallisia työntekijöille. Turvamiesmenettelyllä pystytään tehokkaimmin varmistamaan, että kaikki työmaalla olevat henkilöt ovat havainneet ohittavan junan.



Kuva 93. Työmaan viereisten raiteiden liikennöinti lisää merkittävästi työturvallisuusriskiä.

Tehtyjen havaintojen perusteella ratatyöturvallisuuden ylläpitämisen eräänä keinona työmaalla on työntekijöiden ja kaikkien työmaalla olevien henkilöiden perehdytys. Tällä tavalla pystytään varmistamaan, että kaikki henkilöt tiedostavat työturvallisuuden kannalta aina työmaakohtaiset menettelytavat ja vaarallisimmat tekijät. Tällaisia ovat mahdollinen muu junaliikenne työmaan viereisillä raiteilla ja jännitekatkojen ajanjaksot. Myös Radanpidon turvallisuusohjeet (Liikennevirasto 2015c) vaatii jokaisen työmaalla liikkuvan ja työskentelevän henkilön perehdyttämistä. Perehdyttämisessä tulee käydä lainsäädännön mukaisesti läpi rautatieliikenteen ja työturvallisuuden työmaakohtaiset erityisolosuhteet. Perehdyttämisen aikana tulee käydä läpi myös rautatieturvallisuutta uhkaavat riskit ja noudatettavat turvallisuusmenettelyt. Jokainen suoritettu perehdytys tulee myös kirjata ylös. Tärkeää on perehdyttää myös nostolaitteen tai nostolaitteiden kuljettajat. Perehdytyksessä tulee käydä läpi rautatiealueella liikkuminen, siellä olevat esteet ja työskentelyetäisyydet. (Liikennevirasto 2015c)

Nykyinen ohjeistus (Liikennevirasto 2015c) vaatii myös, että päätoteuttajan on laadittava rautatieturvallisuutta ja työturvallisuutta koskeva turvallisuussuunnitelma ennen töiden aloittamista. Eri työmailta tehtyjen havaintojen perusteella tämä on hyvä tapa turvallisuuden varmistamiseksi. Työmailta kerättyjen havaintojen perusteella turvallisuussuunnitelmassa oli havaittavissa eri toimijoilla erilaisia käytäntöjä. Osalla turvallisuussuunnitelma on muiden suunnitelmien joukossa, osalla taas turvallisuussuunnitelma oli erikseen ja se jaettiin jokaiselle henkilökohtaiseksi, jolloin se oli saatavilla koko ajan. Suunnitelmassa käydään läpi kaikki perusasiat työturvallisuuteen liittyen, kuten vastuhenkilöt, vaadittava varustus ja toimintaohjeet onnettomuuden varalle. Turvallisuussuunnitelmassa tulee ottaa huomioon myös sähköturvallisuuteen ja sähkörataan liittyvät riskit, vaatimukset ja menettelyt. (Liikennevirasto 2015c)

Työmailla tehtyjen havaintojen mukaan, jos nostotyö suoritetaan alihankintana, turvallisuussuunnitelman voi toimittaa etukäteen nostotyön suorittavalla taholla. On mahdollista, että nostotyön suorittava yritys tai sen työntekijät eivät ole aiemmin työskennelleet rautatieympäristössä. Tällä tavoin pystyttäisiin jo etukäteen jakamaan tietoa turvallisuusmenettelyistä ja vähentämään epätietoisuutta esimerkiksi oikeanlaisesta varustuksesta ja tarvittavista pätevyyksistä. Turvallisuussuunnitelman tehtävänä on varmistaa koko työmaan turvallisuus. Siinä ei ole tarkoitus tarkastella nostoja ja niistä mahdollisesti aiheutuvia riskejä, joten nämä asiat tulee käydä vielä erikseen läpi.

7.3 Vastuualueet ja pätevyudet

Rautatiealueella usean eri toimijan työskennellessä yhteisellä työmaalla turvallisuusyhteistyöstä vastaa työmaan päätoteuttaja lainsäädännössä asetettujen vaatimusten mukaisesti. Päätoteuttajan vastuulla on turvallisen nostotyön varmistaminen. Liikenneviraston tilatessa hallinnoimilleen vaihteille vaihtoja vaaditaan työn päätoteuttajalta yhteisen työmaan lainsäädännön, turvallisuutta koskevien määräysten ja Liikenneviraston menettelytapojen noudattamista. Jos vaihdetyömaalla jostain syystä työskentelee useita tahoja erillisillä sopimuksilla, Liikenneviraston tehtävä on määrittää päätoteuttaja. (Liikennevirasto 2015c)

Päätoteuttajan tehtäviin kuuluu myös muita turvallisuuden varmentamiseen liittyviä tehtäviä, jotka ovat:

- Vastata työmaan yleisjohdosta, tiedonkulusta, eri aliurakoitsijoiden yhteistyöstä ja järjestyksestä.
- Nimetä vastuuhenkilö, joka käytännössä hoitaa aiemmin mainitut asiat.
- Vastata töiden ja muun rautatieliikenteen sekä rautatieturvallisuuden yhteensovittamisesta.
- Pitää ajantasaista luetteloa niistä henkilöistä, jotka työmaalla ovat.
- Huolehtia työntekijöiden perehdyttämisestä vaatimusten mukaisesti.
- Varmistaa, että kaikilla yhteisellä työmaalla työskentelevillä henkilöillä on työturvallisuusmääräysten mukaiset ja Liikenneviraston vaatimat tiedot henkilötunnusteessa.

Kaikessa ratatyössä tulee olla vastuuhenkilö, niin kutsuttu ratatyöstä vastaava. Ratatyöstä vastaavan keskeisin tehtävä on vastata rautatiejärjestelmän turvallisuudesta ja työturvallisuudesta työn aikana. Tärkeää on hoitaa viestintä ratatyöalueen työntekijöiden ja koneiden sekä liikenteenohjauksen välillä. Päätoteuttaja nimeää ratatyöstä vastaavan ja hänen on hoidettava rautatieturvallisuuteen liittyvät turvallisuusasiat vaihteen vaihdon aikana. Ratatyöstä vastaavan tulee varmistaa turvallisuusasiat siten, että hän pystyy hallitsemaan turvallisuusasiat myös useamman eri urakoitsijan tai työryhmän työskennellessä samanaikaisesti yhteisellä työmaalla. Oleellista on, että ratatyöstä vastaavan teh-

dessä muitakin töitä, hänellä saa olla kaksi muuta ryhmää omansa lisäksi. Jos vastuuhenkilö toimii ratatyömaalla ainoastaan ratatyöstä vastaavan tehtävissä, hän voi ottaa vastuulleen enintään kymmenen ryhmää. (Liikennevirasto 2015c)

Ratatyöilmoituksesta eli rt-ilmoituksesta vastuu on työn päätoteuttajalla. Rt-ilmoituksen sisällöstä vastaa käytännössä ratatyöstä vastaava. Tärkeää on myös pitää mukana rt-ilmoitusta liitteineen tai sähköisesti. Ilmoitus tulee olla koko ajan mukana ainakin työryhmän yhteyshenkilöllä sekä kaikilla kiskoilla liikkuvien työkoneiden kuljettajilla. (Liikennevirasto 2015c)

Varsinkin vaihteen vaihtotöiden ketjuuntuessa ja alihankkijoita käytettäessä tulee työmaalla käytettävään varustukseen ja työntekijöiden turvallisuuskoulutuksiin kiinnittää erityistä huomiota. Työntekijöiden terveydestä ja turvallisuudesta vaihdetyömaalla huolehtii rakennusurakoissa pääurakoitsija. Tämä tarkoittaa sitä, että työmaalla mahdollisesti toimivien aliurakoitsijoiden työntekijöiden määräysten mukaisesta koulutuksesta ja varusteista tulee huolehtia työmaan pääurakoitsijan. Ratatyömaalla varsinkin ratatyöturvallisuuspätevyys vaaditaan tehtävissä, joissa

- työskentely ja liikkuminen tapahtuvat rautatiealueella tai
- osallistutaan töihin jotka kohdistuvat rautatiejärjestelmän turvallisuuteen tai liikenteenohjaukseen liittyviin laitteisiin tai rakenteisiin. (Liikennevirasto 2015c)

Oheiset vaatimukset voidaan tulkita siten, että kaikilla työmaalla työskentelevillä työntekijöillä työnantajasta riippumatta on oltava voimassa olevat pätevyudet. Varsinkin nostotyön suorittavan yrityksen tulee hoitaa työntekijöilleen riittävät pätevyudet ja päätoteuttajan tulee varmistaa, että pätevyudet ovat voimassa. Tarvittaessa kaikista myönnettyistä pätevyyksistä annetaan tiedot Liikennevirastolle, joten työnantajien täytyy pitää kirjaa henkilöstönsä pätevyyksistä. Jokaisella työmaalla työskentelevällä tai liikkuvalla henkilöllä tulee olla yksilöllinen henkilötunniste sekä varoitusvaatetus. Ratatyömaalla eivät työntekijät saa käyttää oranssia väriä, sillä väriä saa käyttää ainoastaan turvamieheksi määrätty henkilö. Kaikista voimassa olevista pätevyyksistä ja työmaalla toimivista henkilöistä vastaa päätoteuttaja. (Liikennevirasto 2015c)

Materiaalien toimituksesta työkohteeseen, joka on rautatiealueella, vastuu on pääasiassa työn tilaajalla. Vaihteiden asennusurakoissa vastuu materiaaleista on lähes poikkeuksetta aina työn tilaajalla (Viitala 2015). Tilaaja vastaa ainakin seuraavista asioista:

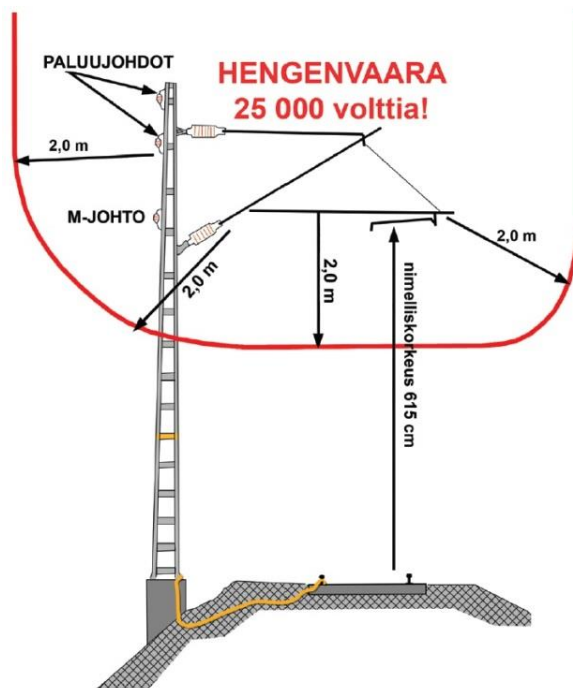
- 1) Kuljetuksissa tulee noudattaa Liikenneviraston turvallisuusvaatimuksia ja turvallisuusmenettelyjä, eikä rautatieliikenteen turvallisuutta saa vaarantaa.
- 2) Tavarantoimittajilla on oltava vähintään määräysten mukainen varoitusvaatetus, suojakypärä sekä tarvittaessa muut henkilökohtaiset suojaimet.
- 3) Työn tai kuljetuksen tilaaja vastaa kuljettajan perehdyttämisestä työkohteen olosuhteisiin ja rautatiealalla noudatettaviin turvallisuuskäytäntöihin.

Mikäli toimitus, esimerkiksi vaihde-elementti, puretaan suoraan työkohteeseen tai varastoalueelle, joka on rautatiealueella, tulee kuljettajalla olla ratatyöturvallisuuspätevyys tai työvaihe suoritetaan pätevyyden omaavan henkilön ohjauksessa ja valvonnassa. Kuorman purkutyössä tulee noudattaa myös turvamies- ja ratatyömenettelyn vaatimuksia, joista vastaa tavarantoimittaja. (Liikennevirasto 2015c)

7.4 Sähkörataturvallisuus

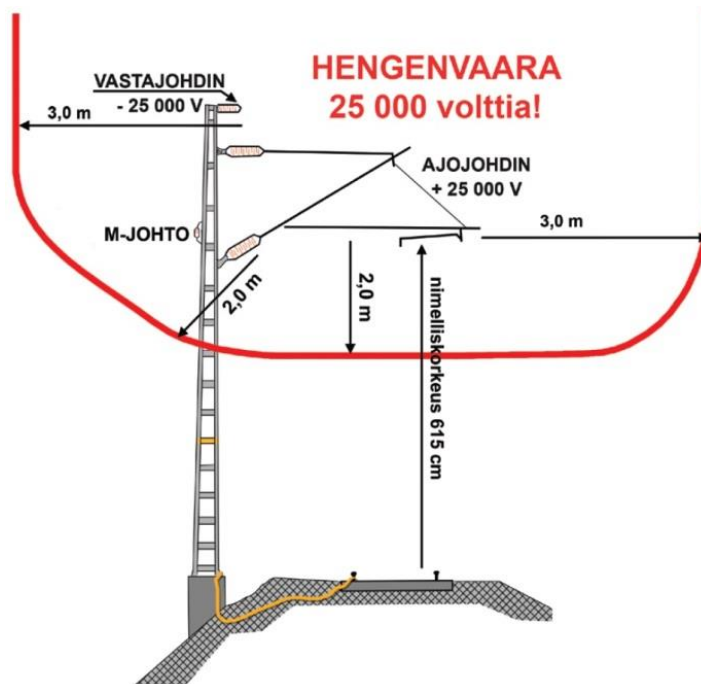
Suomessa sähköistetyillä radoilla kulkee 25 000 V jännite. Ajojohtimissa kulkeva jännite voi loikata yli 300 millimetrin päähän jännitteisistä osista. Työnantajan tehtävä on perehdyttää sähkörataan ja sähköturvallisuusohjeisiin ne henkilöt, jotka sähköradalla työskentelevät. Lisäksi työkohteen erityispiirteisiin liittyvää perehdytystä tulisi työnantajan antaa työtehtävien edellyttämässä laajuudessa. (Liikennevirasto 2015c)

Varsinkin nostolaitteiden käytön yhteydessä sähkörataan liittyvät riskit tulee tunnistaa ja hallita. Oleellista on pystyä säilyttämään turvalliset työskentelyetäisyydet kaikissa nostovaiheissa. Normaalisti ajolanka pyritään asentamaan nimelliskorkeuteen eli 6150 millimetrin korkeuteen kiskon pinnasta. Alimmillaan ajolanka voi kuitenkin olla yli puoli metriä alempana eli 5600 millimetrin korkeudessa. Tämä rajoittaa sallittua työskentelykorkeutta. Pienin henkilöiden työskentelyetäisyys sähköradan jännitteisistä osista on 2 metriä. Tämä etäisyys on esitelty kuvassa 94. (Liikennevirasto 2013c)



Kuva 94. Henkilöiden suojaetäisyydet sähköistetyllä radalla. (Liikennevirasto 2013c)

Vastaavasti työkoneen pienin sähköradan jännitteistä osista oleva työskentelyetäisyys on johtimien alapuolella 2 metriä ja sivuilla 3 metriä eli kuvan 95 mukainen. (Liikennevirasto 2015c)



Kuva 95. Työkoneiden suojaetäisyydet sähköistetyllä radalla. (Liikennevirasto 2013c)

Nostot tehdään jännitekatkon aikana. Tällöin nostoissa pystytään käyttämään hyväksi koko nimelliskorkeutta. Teoriassa vaihtenasennuskoneella vaihde voitaisiin vaihtaa jännitteellisen ajojohdon alla, mutta työturvallisuussyistä myös näissä tilanteissa otetaan jännitekatko. (Kansonen 2015) Jännitekatkon aikanakin tulee pystyä varmistamaan ajolankojen vaurioitumattomuus. Lisäksi tulee ottaa huomioon turvaetäisyydet mahdollisiin viereisten raiteiden sähköradan osiin. Jos ajolangoissa on jännite, pienin työskentelyetäisyys on kuvan 95 mukainen eli 4150 millimetriä. Jännitekatkon avulla työmaalle saadaan luotua huomattavasti turvallisemmat olosuhteet työntekijöille. Tällä tavalla pystytään myös paremmin varmistamaan nostolaitteiden turvallinen käyttö. (Liikennevirasto 2015c)

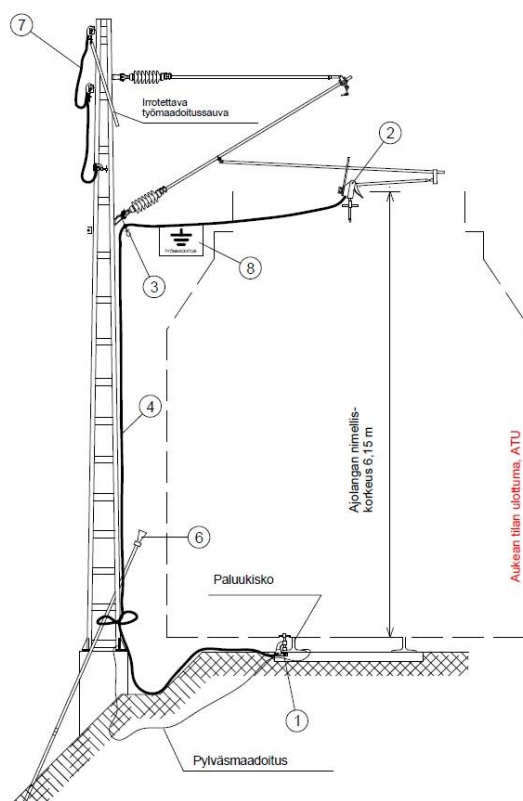
Jännitekatko tarkoittaa sitä, että ajojohtimeen luodaan jännitteetön tila. Vaihtenvaihtotyömaalla tulee varmistaa kaikkien työmaalla olevien henkilöiden tietoisuus siitä, että jännitekatko ei tarkoita liikenteenohjauksen lupaa ratatyöhön. Jännitekatko ei myöskään tarkoita liikennöinnin keskeyttämistä, vaan sen aikana saattaa silti liikkua liikennettä. (Liikennevirasto 2015c) Vaihtenvaihtotyömaille yleensä otetaan jännitekatko, sillä tämä lisää merkittävästi työturvallisuutta. Myös tämän tutkimuksen yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella on aina suositeltavaa muodostaa jännitekatko, kun vaihde vaihdetaan ajojohtimen alla. (Kansonen 2015)

Sähköradalla vain sähköurakoitsija, jolla on riittävät pätevyydet, saa tehdä jännitekatkon. Työmaadoituksen taas saa suorittaa sähköalan ammattihenkilö, joka on tehtävänsä opastettu. Myös maadoitusvälineiden tulee olla virallisesti hyväksytyjä. Vaikka työmaalle tehdään työmaadoitus jännitekatkon turvaksi, työkohteessa saattaa silti olla jännite. Yleensä jännite pääsee eristyksen pettämisen vuoksi, erehtymisen takia, johtimien keskinäisestä koskettamisesta tai jostain muusta syystä johtuen. (Liikennevirasto 2013c)

Ajojohtimen jännitteettömyyteen voi luottaa sen jälkeen kun seuraavat kolme asiaa on tehty:

- 1) Ajojohdin on hätämaadoitettu tai työmaadoitettu.
- 2) Rajat, joiden sisäpuolella työskentely on turvallista, on selvitetty.
- 3) Maadoituksen tehneeltä henkilöltä saadaan työskentelylupa. (Liikennevirasto 2013c)

Jännitekatkon peruseriaatteena on, että työskentelyalueella olevasta ajojohtimesta poistetaan jännitys. Jännitekatko tehdään yleensä sähköradan käyttökeskuksessa ja työalue suojataan kuvan 96 mukaisella päätyömaadoituksella. (Liikennevirasto 2013c)



Kuva 96. Työskentelyalueen päätyömaadoitus (Ratahallintokeskus 2009)

Vaihde-elementtejä kuljetettaessa vaihdetyömaalle rautateitse tulee vaunujen purkamisen aikana kiinnittää erityistä huomiota sähkörataturvallisuuteen. Erityisesti tilanteissa, joissa vaihde saapuu viereiselle raiteelle, joka on sähköistetty. Kuvassa 94 ilmoitettuja

henkilöiden vähimmäisetäisyyksiä ajojohtimista tulee noudattaa vaunun päälle noustessa. Jännitteisen johtimen alla työskentely sallitaan 1,7 metriä korkean kuorman päällä. (Ratahallintokeskus 2009)

Jos työmaalla käytetään ajoneuvonosturia tai muita perustamisen vaativia nostolaitteita, nostolaitteiden perustamisessa, käytössä ja purkamisessa tulee aina varmistaa häiriöttömyys rautatiejärjestelmälle ja rautatieliikenteelle. Nostolaitteelle tulee tehdä käyttöönottotarkastus, jossa varmistetaan, että nostotyö voidaan suorittaa nostosuunnitelman mukaisesti. Varsinkin nostoreittien etäisyydet sähköradasta ja liikennöidystä raiteesta tulee varmistaa. Näin voidaan päätellä nostolaitteen maadoitustarve. Nostolaite tulee maadoittaa tilanteissa, joissa on vaarana, että nostolaite itse tai sen nostama taakka saattaa ulottua vähimmäisetäisyyksiä lähemmäksi radan jännitteisiä osia. Työskenneltäessä useampiraiteisilla rataosuksilla on perusteltua maadoittaa nostolaite, jos viereisellä tai viereisillä raiteilla liikenne jatkuu työn lomassa. (Liikennevirasto 2015c) Nostolaitteen maadoitus on esitelty kuvassa 97.



Kuva 97. Nostolaitteen maadoitus.

Työmailla tulee hakea nostolaitteen käytölle lupa käytönjohtajalta, jos nostolaitteen työskentelyalue on viisi metriä tai lähempänä sähköistetyin radan jännitteisiä rakenteita ja paluujohdinta. Käytönjohtaja antaa nostolaitteelle työluvan, jonka lupaehdoissa on mainittu Liikenneviraston edustaja. Tätä edustajaa tulee pyytää tekemään nostolaitteelle käyttöönottotarkastus ennen sen pystytystä. Lisäksi käyttöönottotarkastuksessa tulisi ottaa huomioon myös riskit rautatiejärjestelmälle ja rautatieliikenteelle sekä muut työturvallisuusasiat. Nostolaitteen pystytys tulee tehdä niin, että laitteen sivusuuntainen etäisyys sähköradasta on vähintään 3 metriä. Lisäksi pystytysvaiheessa ja nostojen

suunnittelussa tulee varmistua, että nostolaite tai vaihde-elementit eivät nostettaessa ulotu 3 metriä lähemmäksi jännitteisiä osia. Etäisyysrajoitus paluujohtimeen on 2 metriä. Tärkeää on varmistaa, ettei nostettavia taakkoja viedä jännitteisten osien yläpuolelle. (Liikennevirasto 2015c)

Nostolaitteissa tulisi käyttää nostokorkeuden rajoittimia. Rajoittimen avulla voidaan pienentää työskentelyetäisyyksiä sähköradan osiin. Raidenosturin käytössä tulee aina olla nostokorkeuden rajoittimet. (Liikennevirasto 2015c)

7.5 Koneiden käyttö

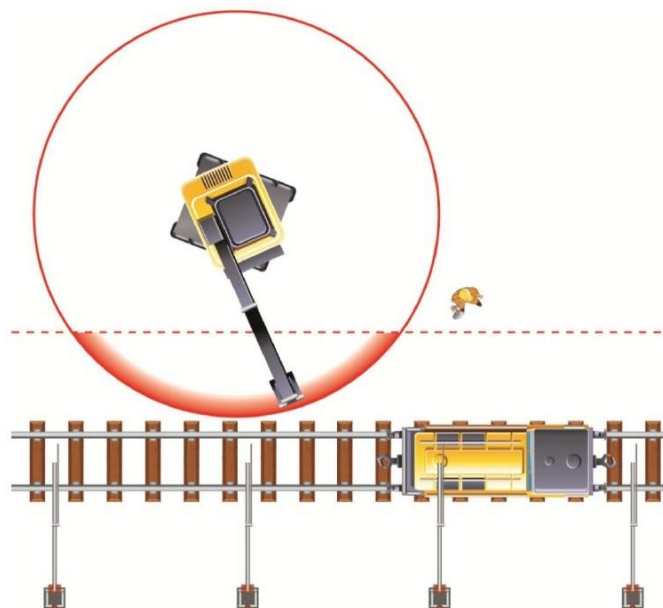
Liikkuminen työmaalla tulee tapahtua ensisijaisesti ratatyön suojaulottuman ulkopuolella kuten huoltoteillä tai työmaateitä pitkin. Ratatyön suojaulottuman sisällä nostolaitteen osat saavat olla vain silloin, kun liikenteenohjaus on antanut siihen luvan. Tärkeää on myös perehdyttää laitteiden kuljettajat rautatiealueella liikkumiseen ja siellä oleviin rakenteisiin ja esteisiin, kuten opasteisiin. Kaikista mahdollisista vaurioista pitää ilmoittaa välittömästi. Kaikki nostolaitteen käytöstä mahdollisesti aiheutuvat riskit arvioidaan riskienhallintasuunnitelman laadinnan yhteydessä. Työmaalla kaikkien nostolaitteiden liikkumista ohjaa ja valvoo ratatyöstä vastaava. Tärkeää on, että nostolaitteen kuljettaja merkitsee kirjallisesti ylös kaikki työskentelyluvut, joita saa ratatyöstä vastaavalta. Tätä dokumenttia tulee pitää laitteessa mukana koko ajan. Työmaalla nostolaitteensa liikkumisesta ja työskentelystä vastaa työkoneen kuljettaja itse. (Liikennevirasto 2015c)

Radanpidon turvallisuusohjeet (Liikennevirasto 2015c) määrää laadittavaksi nostosuunnitelman, jos rautatiealueella työskennellään nostolaitteella. Suunnitelmassa on arvioitava mahdollisia rautatiejärjestelmälle aiheutuvia riskejä ja yrittää etsiä näitä pienentäviä toimenpiteitä. Lisäksi sähköradan vieressä tehtävissä nostoissa tulisi nostoista toteuttavan tahon nimetä nostoihin liittyvästä sähköturvallisuudesta vastaava sähköturvallisushenkilö. (Liikennevirasto 2015c)

Nostolaitteiden käytössä on tärkeää myös varmistaa, että nostolaite tai sen taakka eivät missään työn vaiheessa ulotu liikennöidyn raiteen ratatyön suojaulottuman sisäpuolelle. Tästä syystä jokaiselle nostolaitteelle tulee määritellä turvallinen työskentelyetäisyys liikennöidystä raiteesta. Lisäksi työn suunnittelussa tulee ottaa huomioon, mihin uudet vaihde-elementit saapuvat ja millaisia liikeratoja nostolaitteelta ne vaativat. Etäisyyksien arvioinnissa huomioon otettavia asioita ovat käytettävät lisälaitteet kuten nostoapuvälineet, työympäristö, työskentelyolosuhteet ja tehtävät työt. Näiden perusteiden mukaisesti pystytään määrittämään nostolaitteelle turvallinen työskentelyetäisyys. Tämä etäisyys tulee huomioida työn suunnittelussa ja se tulisi merkitä nostosuunnitelmaan. (Vuorinen 2012)

Nostolaitteen osa voi työn aikana yltyä viereisen tai viereisten raiteiden ratatyön suojaulottuman sisäpuolelle, jos laitteella on määrätty turvamies ja nostolaitteen liikkeet

lopetetaan liikenteen ohituksen ajaksi. Kuvassa 98 on havainnollistettu työskentelyä liikennöidyn raiteen vieressä.



Kuva 98. Työskentely liikennöidyn raiteen vieressä. (Vuorinen 2012)

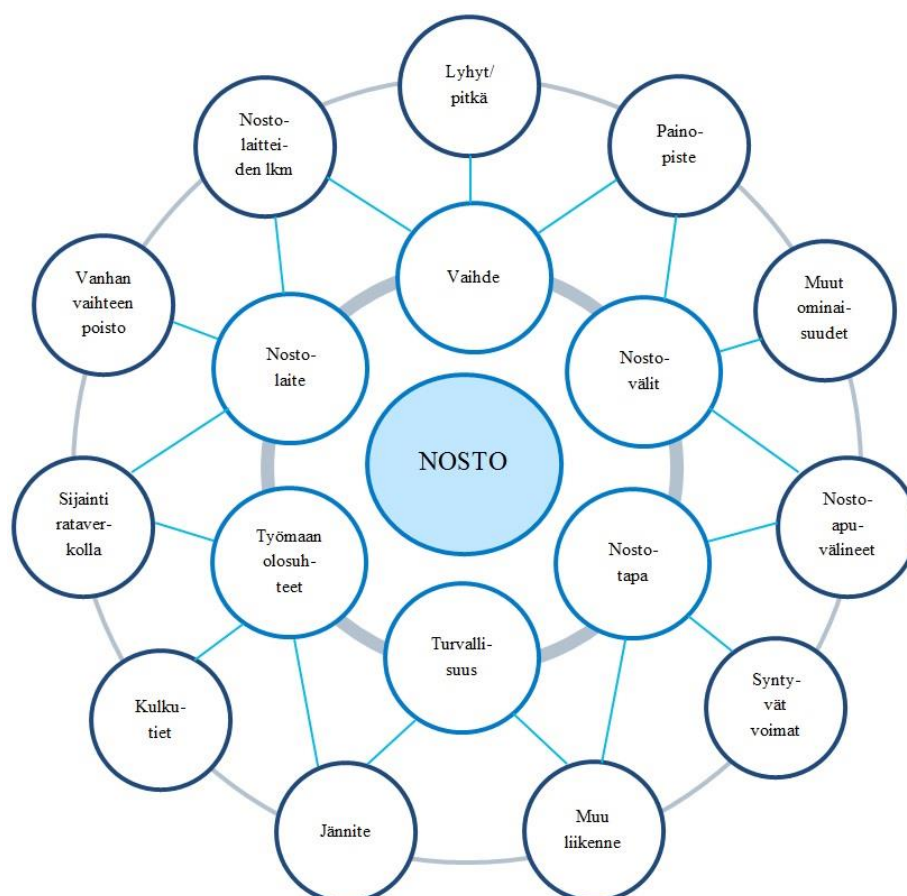
Useampiraiteisilla osuuksilla voi nostolaitteen osa ja varsinkin vaihde-elementin osa helposti joutua toisen raiteen ratatyön suojausalueeseen säädettäessä elementtiä oikealle paikalle. Työtä suoritettaessa tulee vilkasliikenteisen raiteen vieressä varmistua, että työrako on vaihde-elementin nostolle riittävän pitkä. Nostojen aikana tulee myös varmistua, että puomi ei käännä tai muutoin liiku niin, että se voisi vaarantaa tai häiritä ympärillä olevaa junaliikennettä. Tärkeää on varmistaa vaihde-elementtien nostojen kiinnitys. Nostojen aikana mitään ei saa päästä putoamaan liikennöidyn raiteen tai raiteiden päälle. Lisäksi nostojen aikana tulee varmistua siitä, että sähköradan rakenteet säilyvät vaurioitumattomina. (Liikennevirasto 2015c)

8. PÄÄTELMÄT JA TULOKSET

Nostopisteiden määrittämisessä, käytössä ja suunnittelussa havaittiin tutkimuksen aikana selkeitä puutteita ja epäselviä toimintatapoja. Nostopisteiden suunnittelua ei tule tehdä irrallisesti omana kokonaisuutena vaan osana koko vaihde-elementin noston suunnittelua. Vaihde-elementtien nostojen suunnittelu on lakisääteistä ja se tulee tehdä kirjallisesti eli siitä tulee laatia nostosuunnitelma, jonka tarkoitus on ennen kaikkea varmistaa työturvallisuus nostojen aikana. Myös Liikennevirasto vaatii kirjallista nostosuunnitelmaa kaikista nostotöistä, jotka tehdään rautatiealueella. Nykyisissä ohjeistuksissa on selkeitä puutteita verrattaessa niitä nykyiseen lainsäädäntöön ja muihin määräyksiin. Osaltaan tämä johtuu siitä, että nykyiset ohjeistukset ovat vanhempia kuin uusimmat lait ja turvallisuusmääräykset. Näistä syistä johtuen vaihde-elementtien nostojen suunnittelua tulee jatkossa kehittää ja päivittää.

Tämän tutkimuksen havaintojen perusteella eri urakoitsijoiden välillä nostojen suunnittelu ja suunnittelun raportointi on hyvin erilaista ja eritasoista. Osa suunnittelee noston osana koko työmaan työ- ja laatusuunnitelmaa, osa taas laatii kokonaan erillisen nostosuunnitelman. Yhteistä kaikille suunnitelmille on kuitenkin se, että käytettäviin nostopisteisiin ja elementteihin kohdistuviin vaurioihin ei oteta kantaa. Jatkossa tuleekin määrittää nostojen suunnittelulle vähimmäisvaatimukset ja vaatia työn päätoteuttajalta riittävän laadukasta nostojen etukäteistä suunnittelua. Tällä tavalla pystytään vaikuttamaan myös vaihde-elementtien vaurioitumattomuuteen nostojen aikana. Tulevaisuudessa uuteen nosto-ohjeeseen voidaan esimerkiksi luoda asennussuunnitelmapohjan sijaan valmis pohja nostojen suunnittelulle. Nostosuunnitelmapohjan avulla voidaan varmistua, että noston suunnittelu tehdään halutun laajuksena. Tutkimuksen aikana havaittiin myös, että määritettäessä nostopisteitä tai suunniteltaessa nostoa työturvalliseksi suunnittelussa tulee ottaa huomioon lähes samoja asioita kuin suunniteltaessa nostoa vaihde-elementille turvallisesti. Vaihteen eri elementtien käsittelyn suunnittelusta saadaan paras tulos suunnitteleamalla kaikkia vaiheita samanaikaisesti. Tehokkaalla nostosuunnitelmalla pystytään suhteellisen vaivattomasti varmistamaan sekä työn aikainen työturvallisuus että vaihde-elementtien laadun pysyvyys nostojen aikana. Tärkeää on myös pystyä noudattamaan laadittua suunnitelmaa työmaalla.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin oleellimmat nostojen suunnittelussa huomioon otettavat tekijät, jotka vaikuttavat osaltaan noston onnistumiseen, vaihde-elementin laadun säilymiseen ja työturvallisuuteen. Noston suunnitteluun merkittävimmin vaikuttavat tekijät on esitetty kuvassa 99. Eri tekijät vaikuttavat aina toisiinsa, joten niiden vaikutuksia nostoille tuleekin tarkastella aina samanaikaisesti ja työmaakohtaisesti.



Kuva 99. Nostotyön suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä.

Muista aiemmin tehdyistä saman vaihdetyypin nostotöistä voidaan hakea hyviä kokemuksia ja toimintatapoja, mutta suoralla nostosuunnitelmien kopioimisella työmaalta toiselle voi syntyä merkittäviä riskejä, joista osa voi olla epäedullisia vaihde-elementin kunnolle. Niinpä jatkossa tulee varmistaa myös nostojen ja niiden suunnitelmien valvonta. Tutkimuksen aikana tehty yksi keskeisin havainto on, että tällä hetkellä ei riittävän tarkasti erotella nostoja vaihdehalleilla ja työmaalla toisistaan, jolloin osa kuvan 99 tekijöistä jää suunnittelussa ottamatta huomioon.

Vaihde-elementin käsittelymenetelmän suunnittelussa ja valinnassa tulee aina lähtökohteisesti pyrkiä sellaiseen nostotapaan, jossa syntyy vain pystysuuntaisia voimia. Vaihde-elementti nousee ilmaan pystysuuntaisten voimien avulla. Kaikki muut noston aikana syntyvät voiman komponentit ovat turhia ja niistä saattaa aiheutua vaihteen rakentamiseen vain vaurioita. Eri vaihde-elementeistä kielisovituselementin nosto osoittautui selkeästi hankalimmaksi verrattuna muihin elementteihin. Työmailla tulisikin suunnittelussa keskittyä erityisesti kielisovituselementin käsittelyyn.

Nostopisteiden suunnittelussa tulee aina miettiä nostopisteiden määrä, jos työ suoritetaan kahdella nostolaitteella. Tällöin nosto voidaan suorittaa useammasta kuin kahdesta pölkkyvälistä yhtäaikaaisesti, jolloin taivutusmomentin itseisarvon maksimia saadaan pienennettyä. Tutkimuksen aikana selvisi, että vaihdetta YV60-300-1:9 ja sitä lyhyem-

piä vaihteita voidaan nostaa yhtäaikaaisesti kahdesta pölkkyvälistä. Tätä vaihdetta pitempiä vaihteita tulee nostaa useammasta nostovälistä. Lisäksi nostopisteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että jos jonkin vaihteen elementin nosto tulee suorittaa useammasta kuin kahdesta pölkkyvälistä, myös vaihteen muissa elementeissä tätä mahdollisuutta tulee käyttää hyväksi. Mitä useammasta pölkkyvälistä vaihde-elementtiä nostetaan, sitä vakaammaksi nosto saadaan.

Tämän tutkimuksen aikana selvitettiin tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat nostopisteiden valintaan ja suunnitteluun. Nämä tekijät on esitelty kuvassa 79. Lisäksi tutkimuksessa määritettiin tutkittavien vaihteiden eri elementeille nostoihin käytettävissä olevat nostopisteet. Tutkimuksen aikana havaittiin, että nostopisteiden valinnan ja suunnittelun tulisi jatkossa olla osana koko noston suunnittelua. Kaikissa eri nostoon liittyvissä suunnitteluvaiheissa käsitellään samoja asioita, joten nostotyötä ja kaikkia siihen liittyviä osia tulee käsitellä kokonaisuutena.

Nostopisteiden suunnittelun perustana tulee pitää vaurioitumatonta kiskoa. Noston aikana 60E1-kiskoon kohdistuvan taivutusmomentin tulee olla itseisarvoltaan pienempi kuin 147 kNm, jotta kiskoon ei synny pysyviä muodonmuutoksia. Nostot tulee suunnitella siten, että noston aikana tämä arvo ei ylitä. Lisäksi nostopisteiden suunnitteluun vaikuttaa monia muitakin tekijöitä, jotka voidaan jaotella sen perusteella, mistä ne aiheutuvat. Tässä tutkimuksessa nostopisteiden valintaan ja suunnitteluun vaikuttavat tekijät on havaittu aiheutuvan tekijästä riippuen joko vaihdetyypistä, nostotavasta tai työmaan olosuhteista. Eri tekijöitä ovat esimerkiksi kiskon ja pölkyn välinen sijainti, kiskoon kohdistuva puristus, vaihde-elementin pölkyn suuntainen veto ja ajolankojen alle jäävä työtila. Nämä kaikki tekijät tulee ottaa huomioon vaihde-elementtien nostoja suunniteltaessa, sillä tekijät vaikuttavat osaltaan myös työturvallisuuteen, nostolaitteen valintaan ja käytettäviin nostotapoihin.

Tässä työssä tutkittiin kolmen vaihteen eri elementtien nostopisteitä. Vain yhdestä näistä vaihteesta oli ennestään saatavissa nostopisteet. Tämän tutkimuksen aikana määritettyjen nostopisteiden ja parhaillaan käytössä olevien nostopisteiden välillä havaittiin eroavaisuuksia. Pieniä eroavaisuuksia oli havaittavissa myös vaihteiden nykyisissä ja työn aikana määritetyissä painopisteissä. Työn aikana lasketut taivutusmomentit tarkastettiin laskentaohjelmalla, joten tutkimuksen aikana määritettyjä taivutusmomentteja voidaan pitää oikeina. Lisäksi työmailla käytettyjä nostopisteitä pysytettiin vertailemaan määritettyihin. Parhaillaan käytössä olevien, vaihdehalleille suunniteltujen nostopisteiden käytöstä voi tämän tutkimuksen perusteella aiheutua elementtiin pysyviä muodonmuutoksia. Tuloksien perusteella esitetään, että jatkossa näitä nostopisteitä ei enää käytetä.

Tämän tutkimuksen keskeisiä tavoitteita oli arvioida uudistetun nosto-ohjeen tarvetta ja sen sisältöä. Suomessa ei tällä hetkellä pystytä vaihtamaan vaihteita riittävän paljon, joten vaihteiden korjausvelka ja vaihtotarve kasvaa jatkuvasti. Tulevaisuudessa alalla

saattaa olla mahdollisuus myös yhä useammalle toimijalle ja laajemmalle liiketoiminnalle. Nostotöitä suoritetaan myös alihankintana, jolloin voi olla mahdollista, että kyseinen yritys tai sen työntekijät työskentelevät ensimmäistä kertaa rata-alueella. Nostojen laatu näissä tilanteissa voidaan varmistaa riittävällä työn suunnittelulla ja sen valvonnalla, mutta myös tietoa jakamalla. Rautatiealueella työskentely ja vaihde-elementtien käsittely eroavat merkittävästi muista nostotöistä. Tästä syystä vaihde-elementtien nostoilta tulisi laatia ohjeistus, joka sekä perehdyttäisi nostoihin että ohjaisi noston suunnittelussa. Sisällöltään ohjeistuksen tulee olla mahdollisimman selkeä, lyhyt ja helppolukuisen. Nosto-ohjeen avulla voidaan tällöin parhaiten lisätä kaikkien työmaalla työskentelevien henkilöiden ammattitaitoa ja vaikuttaa siihen, että jokainen tiedostaa miten henkilökohtainen tekeminen vaikuttaa nostotyön laatuun.

Työmaan kannalta on parasta tehdä uudesta ohjeesta mahdollisimman yksiselitteinen ja viittauksia muihin ohjeisiin tulee välttää. Tällöin kaikki käytännöt ja tarvittavat tiedot ovat helposti saatavilla. Tutkimuksen aikana on selvinnyt paljon epäselviä käytäntöjä ja ongelmia nykyisissä työtavoissa sekä ohjeistuksissa. Lisäksi nykyisissä ohjeistuksissa on jopa ristiriitaisia ohjeita toisiinsa nähden. Varsinkin nostopisteiden valinta on tällä hetkellä hyvin sekavaa, eivätkä eri osapuoletkaan tiedä, kuka on vastuussa nostopisteiden valinnasta. Nostopisteiden valinnan vastuun epäselvyyksien lisäksi nykyisistä ohjeista selvisi muitakin asioita, joiden käytännöissä on tällä hetkellä jotain ongelmia. Taulukkoon 24 on koottu tutkimuksen aikana nousseita merkittävimpiä asioita, jotka tulisi ratkaista tai yhdenmukaistaa uuteen ohjeistukseen. Lisäksi viimeiseen sarakkeeseen on annettu ehdotus miten kyseisen ongelman voisi ratkaista.

Taulukko 24. *Uuteen nosto-ohjeeseen ratkaistavia asioita.*

Ratkaistava asia	Asian ongelma lyhyesti	Ehdotus ongelman ratkaisemiseksi
Kenen tehtävä on suunnitella nostopisteet?	Nykyisissä ohjeissa ei selkeästi kerrota kenen tehtävä on määrittää käytettävät nostopisteet vaan ohjeiden voidaan nähdä ohjaavan jopa ristiin. Jatkossa tulisikin päättää jatketaanko nostopisteiden merkintää vaihdhalleilla vai siirretäänkö vastuu nostopisteiden suunnittelusta työn päätoteuttajalle.	Työn aikana tehdyn tarkastelun perusteella nostojen parempi laatu pystytään varmistamaan työmaakohtaisella suunnittelulla, josta vastaisi työn päätoteuttaja.
Nostoon käytettävien pölkkyvälien määrä.	Jos jokin työmaan olosuhde vaikuttaa käsittelymenetelmän valintaan siten, että jonkin elementin nosto täytyy tai voitaisiin tehdä useammasta kuin kahdesta pölkkyvälistä, tulisi tätä käyttää aina hyödyksi. Tällä tavalla elementtiin kohdistuvia rasituksia pystytään vähentämään.	Tulevassa nosto-ohjeessa noston suunnittelussa voitaisiin ohjata ottamaan asia huomioon. Jatkossa voitaisiin myös määrittää erilliset nostopisteet kahdesta ja neljästä pölkkyvälistä nostettaessa.
Miten nostopisteet merkitään vaihde-elementtiin?	Tällä hetkellä vaihde-elementissä on paljon eri merkintöjä, joiden kaikkien merkitystä ei työmaalla tiedetä.	Tämän tutkimuksen pohjalta ehdotetaan otettavaksi käyttöön tasasuvinen kolmio nostopisteiden merkinnässä. Muiden tapojen käyttö tulisi kieltää.
Nykyisten nostopisteiden käyttö.	Tämän tutkimuksen perusteella nykyisten nostopisteiden käyttö saattaa olla erittäin vaarallista osalle vaihde-elementtejä.	Saatujen tulosten perusteella tulisi käyttää tässä tutkimuksessa määritettyjä nostovälejä vanhojen nostopisteiden sijaan.
Nostosuunnitelma.	Nykyinen suunnitelmakäytäntö on sekava eikä niissä oteta riittävästi kantaa nostojen suunnitteluun eikä nostopisteiden valintaan. Lisäksi nostosuunnitelma on kaikilla toimijoilla erilainen.	Uudistettuun vaihde-elementtien nosto-ohjeeseen olisi hyvä laatia nostosuunnitelmalle pohja. Tällä tavalla tulee varmistettua kaikkien tarvittavien asioiden huomioon ottaminen jo nostojen suunnitteluvaiheessa.
Taipuma raja-arvona vaihde-elementtien nostopisteiden määrittämisessä.	Yksi nykyisistä nostopisteiden määrittämistavoista ohjaa nostopisteet määrittäväksi siten, että vaihde-elementin taipuma ei kasva nostojen aikana suuremmaksi kuin L/50. Tämän tutkimuksen perusteella taipumalle ei kuitenkaan voida antaa yhtä rajaa, vaan lähes jokaiselle vaihde-elementille tulisi aina määrittää oma taipumaraja.	Nostopisteiden valinnan perustana tulisi käyttää niitä tuloksia, joita tässä tutkimuksessa määritettiin tutkimuksen kohteena oleville vaihteille.
Elementtien painopisteet.	Joidenkin elementtien painopisteissä havaittiin merkittäviä eroavaisuuksia. Jostain vaihteista painopisteiden sijainnit puuttuvat kokonaan. Painopiste vaikuttaa keskeisesti onnistuneeseen nostoon, joten ne tulisi määrittää kaikille vaihde-elementeille. Erityisesti kielisovitus-elementeille.	Uuteen nosto-ohjeeseen tulisi selvittää ja kerätä vähintään yleisimpien vaihteiden painopisteet
Elementtien painopisteiden merkintä.	Nostopisteiden merkitsemisen lisäksi myöskaan painopisteiden merkinnöissä ei ole yhteneväistä käytäntöä. Lisäksi origon paikassa on eri käytäntöjä.	Tulevaisuudessa tulisi selvittää kaikkien vaihteiden painopisteet samasta pisteestä ja merkitä ne jo etukäteen yhteneväällä käytännöllä vaihde-elementteihin tai asettaa tarkastelupiste yhtenäiseksi ja kertoa se uudessa nosto-ohjeessa.
Nostovoimanlisäyksen tarve vanhoja elementtejä poistettaessa.	Vanhan elementin poistamiseen radasta tarvitaan tämän tutkimuksen mukaan enemmän voimaa, kuin mitä tällä hetkellä luullaan.	Tutkimuksen pohjalta kehoitetaan, että nostoihin varataan vähintään 30 % suurempi nostolaite, kuin mitä painavin uusi vaihde-elementti. Asiaa tulisi tutkia myös jatkossa.
Nostoja suorittavien yritysten turvallisuusasiat ja pätevyydet.	Työmaalla tehtyjen havaintojen perusteella nostoja suorittavilla yrityksillä ei välttämättä ole tietoa tarvittavista pätevyyksistä ja turvallisuusasioista, mitä ratatyömaalla vaaditaan.	Uudistetussa vaihde-elementtien nosto-ohjeessa tulee läpikäydä mitä pätevyyksiä ja varusteita nostotyötä tekeville työntekijöiltä vaaditaan. Näin pystytään varmistamaan myös pienien toimijoiden tietoisuus ratatyömaan turvallisuusasioista.

Monesta taulukoidusta asiasta voidaan havaita, että uuden nosto-ohjeen tulee toimia sekä toimijoiden tiedonlähteenä että pohjamateriaalina noston suunnittelulle. Taulukosta voidaan havaita, että tällä hetkellä on paljon eroavaisuuksia käytännöissä. Jatkossa nostojen laadun parantaminen kaikilla suunnittelun osa-alueilla tulee aloittaa yhtenäisten ja selkeiden käytäntöjen sekä toimintamallien luomisella.

9. JATKOTUTKIMUSTARPEET

Ennestään määritettyjen ja tässä työssä laskettujen nostopisteiden käyttöä tulee jatkossa vertailla. Paras tapa vertailun tekemiselle on käytännön koenostot, jolloin voidaan arvioida, miten elementit käyttäytyvät eri nostopisteistä nostettaessa. Pieniä eroavaisuuksia havaittiin myös painopisteiden sijainnissa, mutta ennen kaikkea painopisteen määrittämissä oli menettelyeroja. Jatkossa on perusteltua tutkia myös muiden vaihteiden, varsinkin yksinkertaisten vaihteiden, nostopisteet ja painopisteet. Nämä ovat tärkeimmät tiedot onnistuneen noston suorittamiseksi ja tästä syystä jatkossa niiden oikeellisuuteen ja käyttöön tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Lisäksi jatkossa tulee miettiä, mistä vaihteista tarvitaan nostopisteet myös nostettaessa useammasta kuin kahdesta pölkkyvälistä. Tässä tutkimuksessa esitettiin, että kaikki vaihdetta YV60-300-1:9 pidemmät vaihteet tulee nostaa useammasta kuin kahdesta pölkkyvälistä. Tosin lyhempiäkin vaihteita tulisi aina useammasta kuin kahdesta pölkkyvälistä, jos se on mahdollista niillä työvälillä, jotka työmaalle on valittu. Neljän nostovälin käyttöön soveltuvat pölkkyvälit on jatkossa oleellista selvittää etenkin pitkillä vaihteilla.

Jos tulevaisuudessa vaihteille suoritetaan koenostoja, niiden yhteydessä tulee tutkia myös vaihteen kielikiskojen asennon merkitystä nostojen aikana. Tällä hetkellä ei ole mitään ohjeistusta siitä, kumman kielikiskon tulee olla kielisovituselementissä tukikiskoa vasten nostoa suoritettaessa. Noston aikana se kielikisko, joka on tukikiskoa vasten, taipuu muun elementin mukana. Tällöin siihen liitetty vaihteen kääntämiseen tarvittavat varusteet eivät pääse liikkumaan suunnittelelmattomasti.

Yksi tutkimuksen aikana esiin noussut nostoihin oleellisesti vaikuttava suunnitteluperuste on vanhan vaihteen poistamiseen tarvittava voima. Tutkimuksen aikana vanhan vaihteen poistamiseen tarvittavaa lisävoimaa vertailtiin kyseisen vaihteen painoon. Tulokset osoittivat, että nostoon saatetaan tarvita huomattavasti luultua enemmän voimaa. Tämä vaikuttaa merkittävästi etenkin valittavaan nostolaitteeseen, sillä vaarana voi olla nostokyvyltään liian alhaisen nostolaitteen valinta työmaalle. Tämän työn aikana tutkimus rajoittui kahteen puupölkkyin varusteltuun YV54-200N-1:9 -vaihteeseen. Jatkossa on tarpeen kerätä työmailta tietoa, kuinka paljon vanhan vaihteen poistamiseen on tarvittu lisävoimaa suhteessa vaihteen painoon.

Jos vanhan elementin poistamiseen tarvittavaa voiman lisäystä päätetään jatkossa selvittää, samanaikaisesti voidaan kerätä myös tietoa millaisia dynaamisia kuormia nostojen aikana vaihteisiin kohdistuu. Tässä tutkimuksessa dynaamisten kuormien vaikutusta

arvioitiin täysin kirjallisuuslähteiden perusteella eikä todellisia arvoja saatu kerättyä työmailta. Jos todellisia nostojen aikana syntyviä dynaamisia kuormia saadaan selvitettyä, voidaan jatkossa myös nostopisteitä määrittää realistisemmilla arvoilla.

Nostopisteiden määrittämistä yksinkertaisille vaihdetyypeille voidaan tehdä myös tulevaisuudessa analyttisillä mallinnusmenetelmillä. Tässä tutkimuksessa määritetyt nostopisteet ovat hyvin vastanneet työmailta kerättyjä mielipiteitä ja tehtyjä havaintoja mistä kohdista eri elementtejä tulee nostaa. Muiden kuin yksinkertaisten vaihdetyyppien nostopisteiden määrittäminen voi kuitenkin olla analyttisillä tutkimusmenetelmillä erittäin vaikeaa. Jatkossa varsinkin muiden kuin yksinkertaisten vaihdetyyppien, mutta myös niiden nostopisteiden määrittämistä voidaan tehdä myös monimutkaisemmilla mallinnustavoilla. Yksi hyvä vaihtoehto nostopisteiden määrittämiseen olisi elementtimenetelmään pohjautuvat tietokonemallit. Niiden avulla voidaan tarkemmin mallintaa koko elementin käyttäytymistä nostojen aikana.

Nostoissa syntyvien pituussuuntaisten ja poikittaissuuntaisten voimien aiheuttamat vauriot pystytään tällä hetkellä estämään täysin käyttämällä nostoissa nostopalkkia. Nostopalkin käyttö lisää riskiä kiskon ja pölkköjen välisen sijainnin muuttumiselle. Tämä johtuu siitä, että nostopalkkia on hankalaa käyttää ilman, että se koskettaa pölkköä. Optimaalisinta nostopalkin käyttö on silloin, kun palkki pysyy pölkkövälin keskellä. Tällä hetkellä palkkia ei edes yritetä saada pysymään pölkköjen välissä, vaan nostoissa käytetään vanttiruuveja. Tätä ongelmaa varten on kuitenkin mahdollista kehittää jonkinlainen ”stoppari”, joka estää nostopalkin liikkumisen pölkköjä vasten ja pitää sen paikallaan. Sen ainoa tehtävä on pitää nostopalkki paikallaan pölkköjen välissä, jolloin se ei luisu pölkköä vastaan. Samalla työkalulla pystytään varmistamaan myös kiristävässä nostoissa nostoraksien luistamattomuus. ”Stopparin” tulee olla sellainen, että se kiinnitetään kiskon jalan ympäri. Tällä tavalla se estää parhaiten nostopalkin liikkumisen. Toisaalta kiskon jalkaan kiinnitettäessä se aiheuttaa mahdollisimman pienen onnettomuusriskin, jos se jostain syystä unohtuu irrottaa kiskosta vaihteen vaihdon jälkeen. Tällaisen työkalun käyttö vapauttaa kaikki nostot myös vanttiruuvien käytöltä, sillä niiden käytössä on runsaasti riskejä.

LÄHTEET

Aluehallintovirasto (2014). Kuormausnosturit tarkastukset. [WWW] [Viitattu 22.9.2015] Saatavissa:

http://www.tyosuojelu.fi/upload/140828Kuormausnosturit_Tarkastusohjeet.pdf

Asfal, D.R., Moore, C.S., Brown, R.R., Santarelli, D.F., Santarelli, C.F., Santarelli, R.F., (2006). Construction equipment management for engineers, estimators and owners. CRC Press, pp. 65-120. [WWW] [Viitattu 23.9.2015] Saatavissa:

<http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420013993.ch4>

Avallone, E., Baumeister, T., Sadegh, A., (2007). Marks standard handbook for mechanical engineers. 11. painos. Yhdysvallat. [WWW] [Viitattu 24.7.2015] Saatavissa:

http://accessengineeringlibrary.com.libproxy.tut.fi/browse/marks-standard-handbook-for-mechanical-engineers-eleventh-edition/p2001147c99710_4003?s.num=1&q=4+point+lifting

Betoniteollisuus (2010). Betonielementtien nostolenkit ja –ankkurit, Tammerprint Oy. 75 s. [WWW] [Viitattu 14.7.2015] Saatavissa:

http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23860/Betonielementtien_nostolenkit_ja_-ankkurit_2010%20+%20Muutokset_2014_07.pdf

CFS, (2015). Precast concrete systems, p. 275. Construction fixing systems limited.

[WWW] [Viitattu 29.7.2015] Saatavissa: www.cfsfixings.com/files/Precast-Concrete-Systems.pdf

Edwards, D.J., Holt, G.D., (2009). Case study analysis of risk from using excavators as 'cranes', Loughborough University, pp 127-133. [WWW] [Viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580509002027>

Elo, M., Sauramaa, A., (2013). Elinkaariajattelu ja –liiketoiminta Suomen meriteollisuudessa – haasteita ja mahdollisuuksia yrityksille. Turun kauppakorkeakoulu, s. 41.

[WWW] [Viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/92357/Elinkaari%20loppuraportti%2017092013.pdf?sequence=2>

Eurocode, (2011). SFS-EN 13674-1, Railway applications. Track. Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above. Suomen standardoimisliitto SFS, s. 112.

Finlex, (2008). Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. [WWW] [Viitattu 7.11.2015] Saatavissa:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080403>

Finlex, (2003). Valtioneuvoston asetus elementtirakentamisen työturvallisuudesta. [WWW] [Viitattu 26.11.2015] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030578>

Gong, C., (2013). The interaction between railway vehicle dynamics and track lateral alignment. The University of Huddersfield, Institute of railway research. pp. 219. [WWW] [Viitattu 11.12.2015] Saatavissa: http://eprints.hud.ac.uk/19755/1/Cencen_Gong_-_Final_Thesis.pdf

Heiska T., Koskenvesa, A., (2007). Betonielementtien turvallinen asennus, 2007. Betonikeskus ry, 49 s. [WWW] [Viitattu 29.7.2015] Saatavissa: http://asv.fi/files/documents/pdf/betonikeskus_elementin_turvallinen_asennus.pdf

Innotrack, (2006) Innovative track systems. Recommendation of, and scientific basis for, optimisation of switches & crossings – part 2. [WWW] [Viitattu 7.7.2015] Saatavissa: http://www.innotrack.net/IMG/pdf/d316-f3-recommendation_of_and_scientific_basis_for_optimisation_of_switches_and_crossings_part2.pdf

Järveläinen M., (2015). Toimitusjohtaja, Parma Rail Oy. Sähköpostitse, 2015

Kalliainen, A., Kolisoja, P., Nurmikolu, A., (2014). Radan 3D-rakennemalli ja ratarakenteen kuormituskestävyys. Liikennevirasto, Helsinki 178s. [WWW] [Viitattu 26.8.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2014-55_radan_3d-rakennemalli_web.pdf

Kansonen J., (2015). Projektipäällikkö. Liikennevirasto. Sähköpostitse 2015

Kauppinen, M., (2011). Ratakiskon elinkaari. Liikennevirasto 118 s. [WWW] [Viitattu 2.9.2015] http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-01_ratakiskon_elinkaari_web.pdf

Kerokoski O., (2015). Yliopistonlehtori. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. Haastattelu, 2015

Kirow, (2015a). Desec Tracklayer 1200/200 Turnout replacement machine. Esite. [WWW] [Viitattu 30.10.2015] Saatavissa: http://www.kranunion.de/typo3conf/ext/cb_dam/lib/files/WkRFd2pVME9nellqbFpUTVpETmlUVTBOSmxNRHINRElaREU9X1pUQjBZR001/Tracklayer_E_fin_k.pdf

Kirow, (2015b). Multi tasker 100/250/810/1000/1200/1600 Railway crane. Esite. [WWW] [Viitattu 18.11.2015] Saatavissa: http://www.kranunion.de/typo3temp/cb_dam/files/74bf18a8fe04396d865acc4d84dbab30/MULTI_TASKER_Produktbrosch_E_270315_RZ.pdf

Kirow, (2015c). Switch and crossing transport wagon. Esite. [WWW] [Viitattu 31.7.2015] Saatavissa:

http://www.kranunion.de/typo3temp/cb_dam/files/4e8d3b151db928e1f00076df16f3cda0/PB_Kirow_SwitchTilter_ENG.pdf

Kurko Koponen, (2015). Kuva asennusnosturi Fassi 950 2.28 nostokyvystä. [WWW] [Viitattu 15.12.2015] Saatavissa:

<http://www.kurkokoponen.fi/tiedostot/tiedote/galleria/fassi-950-228-02.jpg>

Lichtberger, B., (2011). Track Compendium, , DVV Media, Germany, 621 s.

Liebherr, (2005). Mobile crane technical data, p. 26. [WWW] [Viitattu 18.11.2015] Saatavissa: http://www.janhunen.fi/images/nosto_pdf/liebherr_ltm_1090_4_1.pdf

Liikennevirasto, (1998). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 12 Päälysrakennehitsaus. Ratahallintokeskus, 30 s. [WWW] [Viitattu 1.7.2015] Saatavissa: http://www.trafi.fi/filebank/a/1337757804/a1160360c81a0d71db5f20d9dd62bc05/9737-Kumottu_RAMO_12.pdf

Liikennevirasto, (2002). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11 Päälysrakenne. Liikennevirasto, 83 s. [WWW] [Viitattu 2.7.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_13_radan_tarkastus.pdf

Liikennevirasto, (2004). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 13 Radan tarkastus. Ratahallintokeskus, 83 s. [WWW] [Viitattu 15.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_13_radan_tarkastus.pdf

Liikennevirasto, (2007). Vaihde-elementtien nosto ja siirto. Liikennevirasto, 18 s. [WWW] [Viitattu 3.7.2015] Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_vaihde-elementtien_nosto_siirto.pdf

Liikennevirasto (2008). Esijännitetyt betoniratapölkkyt, 21 s. [WWW] [Viitattu 20.7.2015] Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_esijannitetyt_betoniratapolkkyt.pdf

Liikennevirasto, (2011a). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 7 Liikennepaikat. Liikennevirasto, 86 s. [WWW] [Viitattu 16.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-13_rato_7_web.pdf

Liikennevirasto (2011b). Etelä-Suomen radanpidon raiteiden tarveselvitys, 84 s.

[WWW] [Viitattu 16.6.2015] Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/its_2011-17_etela-suomen_radanpidon_web.pdf

Liikennevirasto, (2012). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 4 Vaihteet. Liikennevirasto, 66s. [WWW] [Viitattu 8.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-22_rato_4_web.pdf

Liikennevirasto, (2013a). Hankinnan toimintalinjat – linjaukset ja kehittämiskohteet, 58 s. [WWW] [Viitattu 10.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lto_2013-03_hankinnan_toimintalinjat_linjaukset_web.pdf

Liikennevirasto, (2013b). Ratatekniset ohjeet (RATO) 14 Vaihteiden tarkastus ja kunnossapito. Liikennevirasto, 56 s. [WWW] [Viitattu 15.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-07_rato14_web.pdf

Liikennevirasto, (2013c). Turvallinen työskentely sähköistetyllä radalla. Liikennevirasto, 32 s. [WWW] [Viitattu 3.7.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/esite_2013_turvallinen_tyoskentely_web.pdf

Liikennevirasto, (2013d). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5 Sähköistetty rata. Liikennevirasto, 166s. [WWW] [Viitattu 16.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-21_rato_5_web.pdf

Liikennevirasto, (2014). Vaihteiden hallintaraportti, Liikennevirasto. [WWW] [Viitattu 29.6.2015] Saatavissa: <https://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/810413f79f3b17a486a8ff41b276b4f0/1435580455/application/pdf/5220060/Vaihteiden%20hallintaraportti%202014.pdf>

Liikennevirasto, (2015a). Investointien toteutuksen hankintaohjelma. [WWW] [Viitattu 5.6.2015] Saatavissa: http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/urakoitsijat_suunnittelijat/investointien_kilpailutukset/2015_05_Hankintaohjelma_investointien_toteutus.pdf

Liikennevirasto, (2015b). Suomen rautatietilasto 2015, 56s. [WWW] [Viitattu 5.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lti_2015-06_suomen_rautatietilasto_web.pdf

Liikennevirasto, (2015c). Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). Liikennevirasto, 108 s. [WWW] [Viitattu 6.11.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2015-06_turo_web.pdf

Mainline, (2014). Rail switches and crossings. Development of new technologies for replacement. Mainline, p. 79. [WWW] [Viitattu 26.6.2015] Saatavissa: http://www.mainline-project.eu/IMG/pdf/ml-d3.3-f-methods_for_switches_-_crossings_replacement.pdf

Manalo, A., Aravinthan, T., Karunasena, W., Stevens, N., (2011). Analysis of a typical railway sleeper system using a grillage beam analogy. University of Southern Queensland, p. 16. [WWW] [Viitattu 9.7.2015]. Saatavissa:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168874X1100148X>

Network Rail, (2011). Guidance on good practice for selection of RRV excavator cranes for tandem lifting of track panels, p. 32. [WWW] [Viitattu 29.10.2015]. Saatavissa:

<https://www.safety.networkrail.co.uk/Home/On-site-Solutions/OTP-Safety/~media/Home/Projects/OTP%20Safety/TLOfTrackPanel--Issue-1-August-2011.pdf>

Nieminen V., (2015). Konekesko. Tampere. Haastattelu, 2015

Nummelin, M., (2004). Railway Turnouts. Jyväskylä, Gummerus Kirjapaino Oy. 115s.

Nummelin, M., (1994). Rautatievaihteet. Mikkeli, VR-pääkonttori, Ratayksikkö. 144 s.

Nurmikolu, A., Kerokoski, O., Rantala, T., (2013). Betoniratapölkyn rakenteellinen toiminta ja vaurioitumismekanismit. Liikennevirasto, 174 s. [WWW] [Viitattu 6.8.2015].

Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-36_betoniratapolkyn_rakenteellinen_web.pdf

Oksman, J., (2013). Vaihde-elementtien kuljetusvaunun kuormausohje. VR Yhtymä Oy, 26 s. [WWW] [Viitattu 14.7.2015] Saatavissa:

http://188.117.35.17/attachments/newfolder/liitteet_2013/6L8xq6KU7/Vaihde-elementtien_kuljetusvaunujen_kuormausohje.pdf

Onnettomuustutkintakeskus, (2013). Vaihteenkuljetusvaunujen suistumiset Riihimäen ratapihalla 22.5.2012 ja Kouvolan ratapihalla 28.6.2012, tutkintaselostus. Onnettomuustutkintakeskus, Helsinki, 77 s. [WWW] [Viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/raide-liikenneonnettomuuksientutkinta/2012/r2012-02_tutkintaselostus/r2012-02_tutkintaselostus.pdf

Palolahti, T., (2011). Betonielementtien nostot. Mittaviiva Oy, 6s. [WWW] [Viitattu 22.9.2015] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110502.pdf>

Pasanen J-H., (2014). Liikennevirasto. Sähköpostitse, 2014

Peltokangas, O., Luomala, H., Nurmikolu, A., (2013). Radan pystysuuntainen jäykkyys ja sen mittaaminen. Liikennevirasto, 208 s. [WWW] [Viitattu 24.8.2015] Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-06_radan_pystysuuntainen_web.pdf

Pentti, M., (2010). 30.10.2011. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennesuunnittelun perusteet luentomateriaali [Viitattu 26.8.2015] Saatavissa rajoitetusti.

Peters, N.W., (2005). The performance of Hadfield's manganese steel as it relates to manufacture. 22 s. [WWW] [Viitattu 8.6.2015] Saatavissa: https://www.arena.org/files/library/2005_Conference_Proceedings/00040.pdf

Pollari, J., (2011). Vaihteet. 3.11.2011. Tampereen teknillinen yliopisto. Rautatiesuunnittelun erikoisopintojakso luentokalvot. [WWW] [Viitattu 8.6.2015] Saatavissa rajoitetusti: <https://rhk-fi.directo.fi/@Session/Loginform?GOTO=/tietopalvelu/raideakatemia/rasu2011>

Pollari J., (2015). Tuotantopäällikkö. Vossloh Cogifer Finland Oy. Pieksämäki. Haastattelu ja sähköpostitiedustelu, 2015

Pulliainen P., (2015). Vossloh Cogifer Finland Oy. Pieksämäki. Haastattelu, 2015

Pöllänen I., (2015). Lujuusopin perusteet opintojakson luentokalvot, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [WWW] [Viitattu 8.6.2015] Saatavissa: https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk80a0401/luennot/luento_1_3.pdf

Ratahallintokeskus, (1998). Ratakiskojen käsittely työmaalla. Ratahallintokeskus, 9 s. [WWW] [Viitattu 6.10.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_pyl_ratakiskojen_kasittely_tyomaalla.pdf

Ratahallintokeskus, (1999). Päälyysrakennetöiden yleiset laatuvaatimukset (PYL) Osa 3 Vaihdeytöt. Ratahallintokeskus, 30 s. [WWW] [Viitattu 8.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_d5_pyl3_vaihdeytot.pdf

Ratahallintokeskus, (2005). Vaihteenkääntölaitteiden tekniset toimitusehdot. Ratahallintokeskus, 13 s. [WWW] [Viitattu 29.10.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_vaihteenkaantolaitteidentekntoimehdo_t_1836.pdf

Ratahallintokeskus, (2009). Sähkörataohjeet. Ratahallintokeskuksen julkaisu B22, 92 s. [WWW] [Viitattu 6.10.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_b22_sahkorataohjeet_web.pdf

Rautatietekniikka -lehti, (2015). 2/2015. Ratakunnossapidon haasteet ja kunnossapidon hankinnat. [WWW] [Viitattu 16.6.2015] Saatavissa: https://asiakas.kotisivukone.com/files/rautatietekniikka.kotisivukone.com/Rautatietekniikka/rautatietekniikka_2_2015_harva.pdf

- Ryynänen, M., (2013). Suunnitteluperusteet suunnittelua ohjaavana asiakirjana. Liikennevirasto. [WWW] [Viitattu 3.6.2015] Saatavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/uutiset/tapahtumat/2013hankesuunnittelu/Ryyn%20E4nen%20Suunnitteluperusteet%20suunnittelua%20ohjaavana%20asia%20kirjana.pdf>
- Salmi, T., (2005). Statiikka. Tampere, Pressus Oy. 400 s.
- Salmi, T., Pajunen, S., (2010). Lujuusoppi. Tampere, Pressus Oy. 462 s.
- Salmi, T., Kuula, T., (2012). Rakenteiden mekaniikka. Tampere, Pressus Oy. 463 s.
- Seppänen, R., Kervinen, M., Parkkila, I., Karkela, L., Meriläinen, P., (2000). MAOL- taulukot. Keuruu, Otava.
- Semtu Oy, (2012). Nostoankkurit ja -tarvikkeet käyttöohje. Kerava, 31 s. [WWW] [Viitattu 10.7.2015] Saatavissa: http://www.semtu.fi/files/3514/3980/3848/Nostoankkurit_kayttoohje_27032012.pdf
- Simola, A., (2009) Rakennustyömaan nosturien turvallinen käyttö. 3T Ratkaisut Oy, 16 s. [WWW] [Viitattu 10.7.2015] Saatavissa: <http://www.tyosuojelupaallikko.fi/binary/file/-/id/65/fid/1515>
- Skoglund, K.A., (2002). A study of some factors in mechanistic railway track design. Norwegian university of science and technology. [WWW] [Viitattu 26.8.2015] Saatavissa: <http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/231131>
- Sorsa Mika. Vossloh Cogifer Finland Oy. Kaipiainen. Haastattelu, 2015
- Suomen säädöskokoelma, (2015). Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Rakennustietosäätiö. [WWW] [Viitattu 10.7.2015] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2421419%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-104369/21419.pdf>
- Tamate, S., Katada, T., Suemasa, N., (2006). A study on safety requirements of bearing ground for mobile cranes. Hong Kong. [WWW] [Viitattu 29.10.2015] Saatavissa: <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/NOE0415415866.ch191>
- Tatasteel, (2014). Rail technical guide. [WWW] [Viitattu 16.11.2015] Saatavissa: http://www.tatasteellrail.com/static_files/StaticFiles/Rail/Rail%20Technical%20Guide%20EN.pdf

Tepponen, P., (2014). Betonin huokostus. Semtu Oy, 13 s. [WWW] [Viitattu 10.12.2015] Saatavissa: <http://www.semtu.fi/files/1514/0420/1037/Huokostimet-info-2014.pdf>

TraFi, (2013). Suomen rautateiden turvallisuuden vuosikatsaus 2013. Liikenteen turvallisuusvirasto, 40 s. [WWW] [Viitattu 9.6.2015] Saatavissa: http://www.trafi.fi/filebank/a/1384345026/27f34fe82d53fc9e8b4c43bf6e3b18b4/13612-Trafi_Rautateiden_turvallisuuskatsaus_2013.pdf

TraFi, (2014). Suomen rautateiden tila 2014. Liikenteen turvallisuusvirasto, 39s. [WWW] [Viitattu 9.6.2015] Saatavissa: http://www.trafi.fi/filebank/a/1412063132/52dbd5195d8cfff67cce5aa044d3d329/15449-Trafi_Rautateiden_tila_2014_FI.pdf

Tuominen, M., (2004) Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset. Ratahallintokeskus, 134 s. [WWW] [Viitattu 29.10.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2004-a3_rautatieinfrastruktuurin_elinkaarikustannukset_web.pdf

Työsuojeluhallinto, (2010). Nostoapuvälineet turvallisuus, Työsuojeluoppaita ja –ohjeita 12. Tampere, Multiprint Oy, 45 s. [WWW] [Viitattu 15.7.2015] Saatavissa: http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2011/01/TSO_12.pdf

Työturvallisuuskeskus, (2012). Turvallisuusopas ajoneuvonosturin kuljettajalle. Työturvallisuuskeskus, 20s. [WWW] [Viitattu 29.10.2015] Saatavissa: <http://www.nostokonepalvelu.fi/sites/nostokonepalvelu.fi/files/NOSTOKONEPALVELU/Vakuutukset/Autonosturiopas2012.pdf>

Viitala T., (2015). Projektipäällikkö. Liikennevirasto. Helsinki. Haastattelu, 2015

Virtala, P., Äijö, J., (2011). Liikenneväylien korjausvelka – laskentamallien kehitys ja testaus. Liikennevirasto, 66 s. [WWW] [Viitattu 5.6.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-42_liikennevaylien_korjausvelka_web.pdf

VR Track, (2015). Vaihteenasennuskoneen esittely 2015. Kotisivut. [WWW] [Viitattu 6.11.2015] Saatavissa: <http://www.vrtrack.fi/fi/vr-track/kalusto/vaihteenasennus/>

Vuorinen, J., (2012). Radanpidon turvallisuusohjeet – keskeiset muutokset ja niiden taustat. Proxion, 49 s. [WWW] [Viitattu 6.11.2015] Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-01_turo_info_web.pdf

Vuotari, J., (2009). 31.10.2011. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennesuunnittelun perusteet. Eurokoodi luentomateriaali. Tampereen teknillinen yliopisto. [Viitattu 28.9.2015] Saatavissa rajoitetusti.

Väisänen K., (2015). Sweco PM Oy. Tampere. Haastattelu, 2015

Wan, C., Markine, V., Shevtsov, I., (2014). Optimisation of the elastic track properties of turnout crossings. Institution of mechanical engineers, p. 15. [WWW] [Viitattu 16.11.2015] Saatavissa:

http://www.researchgate.net/publication/266100041_Optimisation_of_the_elastic_track_properties_of_turnout_crossings

WSH Council, (2014). Guidelines for creating lifting plan for lifting operations in workplaces. WSH Council, p. 45 [WWW] [Viitattu 14.7.2015] Saatavissa:

https://www.wshc.sg/files/wshc/upload/announcement/file/2014/LiftingPlanGuidelines_WGDRAFT_for_Industry_and_Public_Comment.pdf

Zwaneburg, W-J., (2009). Modelling degradation processes of switches & crossings for maintenance & renewal planning on the Swiss railway network. Delft University of Technology, pp. 1-154. [WWW] [Viitattu 17.6.2015] Saatavissa:

http://infoscience.epfl.ch/record/125691/files/EPFL_TH4176.pdf

LIITE B: VAIHTEEN YV60-300-1:9 VÄLIKISKOELEMENTIN JA RISTEYSELEMENTIN NOSTOSSA SYNTYVÄT PITUUSSUUNTAISET VOIMAT

YV60-300-1:9 Välikiskoelementti						YV60-300-1:9 Risteyselementti					
Nostoväli		Pituussuuntainen		Pituussuuntainen		Nostoväli		Pystyvoima		Pystyvoima	
a	b	F _a		F _b		a	b	Pituussuuntainen		Pituussuuntainen	
		F _{a1}	F _{a2}	F _{b1}	F _{b2}			F _a		F _b	
24-25	38-39	18	18	42	42	45-46	56-57	23	23	24	24
	39-40	21	21	39	39		55-56	21	21	27	27
25-26	38-39	19	19	40	40		54-55	18	18	29	29
	39-40	22	22	37	37		53-54	14	14	33	33
	40-41	25	25	35	35		52-53	10	10	38	38
26-27	38-39	21	21	39	39		51-52	3	3	44	44
	39-40	24	24	36	36	46-47	56-57	26	26	22	22
	40-41	26	26	33	33		55-56	23	23	24	24
	41-42	29	29	31	31		54-55	20	20	27	27
27-28	38-39	23	23	37	37		53-54	16	16	31	31
	39-40	26	26	34	34	52-53	11	11	36	36	
	40-41	28	28	31	31	51-52	4	4	43	43	
	41-42	31	31	29	29	47-48	56-57	28	28	19	19
	42-43	33	33	27	27		55-56	26	26	21	21
28-29	38-39	25	25	34	34		54-55	23	23	24	24
	39-40	28	28	31	31		53-54	19	19	28	28
	40-41	31	31	29	29	52-53	13	13	34	34	
	41-42	33	33	26	26	51-52	5	5	43	43	
	42-43	35	35	25	25	48-49	56-57	32	32	15	15
43-44	37	37	23	23	55-56		30	30	18	18	
29-30	38-39	28	28	32	32		54-55	27	27	20	20
	39-40	31	31	28	28		53-54	23	23	25	25
	40-41	34	34	26	26	52-53	17	17	31	31	
	41-42	36	36	24	24	51-52	6	6	41	41	
	42-43	38	38	22	22	49-50	56-57	37	37	11	11
43-44	39	39	20	20	55-56		35	35	13	13	
30-31	38-39	31	31	28	28		54-55	32	32	15	15
	39-40	34	34	25	25		53-54	29	29	19	19
	40-41	37	37	23	23	52-53	22	22	25	25	
	41-42	39	39	20	20	51-52	10	10	38	38	
	42-43	41	41	19	19	50-51	56-57	43	43	5	5
43-44	42	42	17	17	55-56		42	42	6	6	
					54-55		40	40	7	7	
					53-54		38	38	9	9	
					52-53		33	33	14	14	
					51-52		19	19	28	28	